

# 半導体レーザー（レーザーダイオード） アプリケーションノート (Revision 1.3J)



## 目次

### 1. 製品の概要

1.1 レーザーとは .....	1
1.2 代表的な用途 .....	4

### 2. 取扱いの注意

2.1 基本事項 .....	7
2.2 最大定格 .....	8
2.3 放熱対策 .....	9
2.4 サージ対策 .....	10
2.5 製品の実装 .....	12
2.6 保管と運搬 .....	13

### 3. 駆動方式と設計

3.1 基本特性 .....	14
3.2 駆動方式 .....	16
3.3 回路の基本設計 .....	22
3.4 レーザードライバ IC の活用 .....	24
3.5 LED ドライバ IC、汎用電源 IC の活用 .....	25
3.6 レーザー駆動用電源モジュールの活用 .....	26
3.7 サージ、オーバー／アンダーシュート対策 .....	27

### 4. 放熱対策と設計

4.1 放熱対策 .....	29
4.2 放熱の基本設計 .....	33
4.3 放熱設計の事例 .....	34

## APPENDIX

- ・ 用語の説明
- ・ 図とグラフの説明

本資料ご利用に際してお願い

## 1. 製品の概要

### 1.1 レーザーとは

#### 1.1.1 レーザーについて

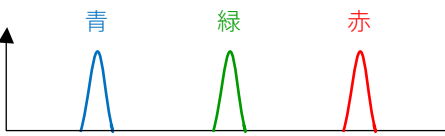
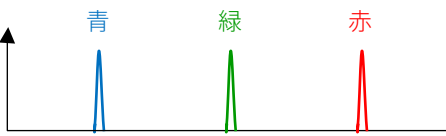
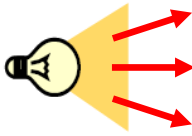
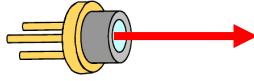
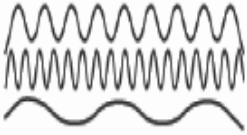

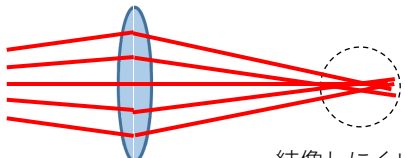
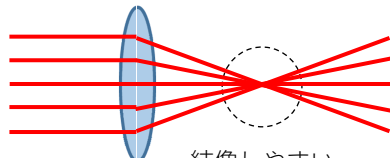
レーザー（LASER）は、"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" の頭文字で、直訳すると「誘導放出による光の増幅放射」という意味になります。

レーザーの媒質として用いられる物質には、固体・液体・気体など数多く存在しますが、そのなかでも半導体を材料に用いたものを「半導体レーザー」といいます。

#### 1.1.2 レーザーの特徴（LED との比較）

半導体レーザーと同じ半導体発光デバイスとして発光ダイオード（LED：Light-Emitting Diode）があります。半導体レーザーも LED もどちらも人工的に作られた光を放射するデバイスですが、レーザーは単色性、指向性、コヒーレント性などに優れるという特徴をもっています。

半導体レーザー製品は、小型軽量・低消費電力・直接高速変調などの特徴をあわせ持っています。

	LED	レーザー
単色性	 <p>スペクトル幅が広い</p>	 <p>スペクトル幅が狭い</p>
指向性	 <p>光が拡散して遠くへ届きにくい</p>	 <p>光が直線的で遠くまで届く</p>
コヒーレント性	 <p>波長と位相がバラバラ</p>	 <p>波長と位相がそろっている</p>
エネルギー集中度	 <p>結像しにくい</p>	 <p>結像しやすい</p>

## 1. 製品の概要

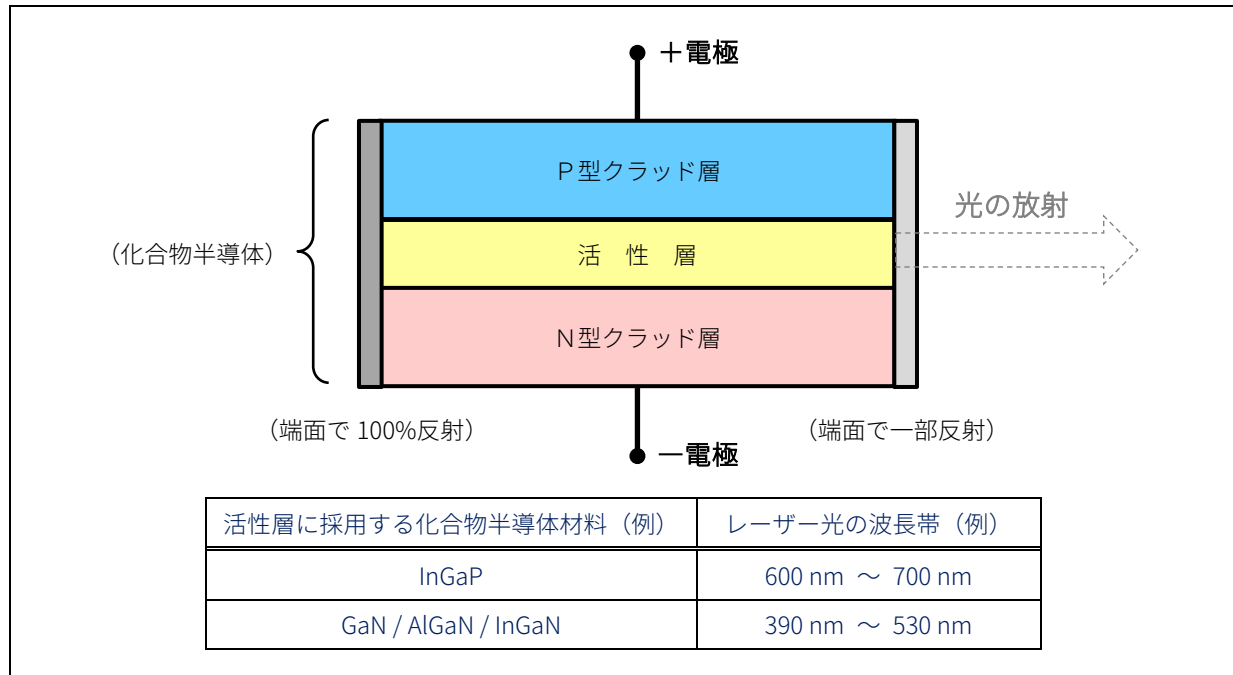
### 1.1.3 半導体レーザーの構造

当社の半導体レーザー製品は、P型とN型の半導体で活性層を挟んだダブルヘテロ構造です。

活性層に接するp型およびn型の半導体層をクラッド層と呼びます。

当社は、「半導体の端面」に光の通り道を設ける EEL（端面発光レーザー）形式を採用しています。

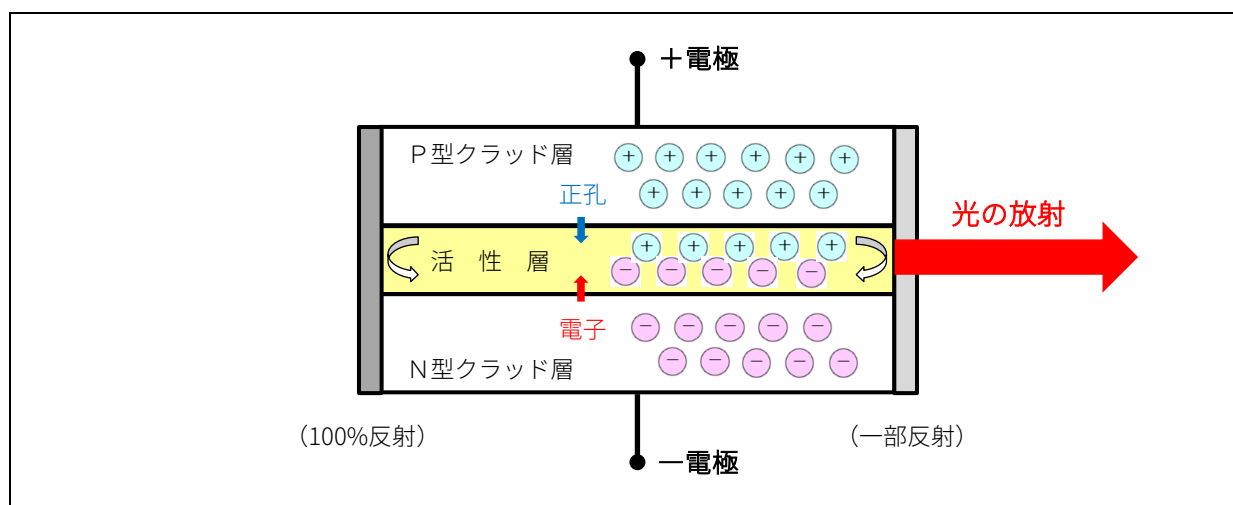
活性層の材料は、発光させたいレーザー光の波長帯に適した化合物半導体材料を採用しています。



### 1.1.4 半導体レーザーの動作

電極に電流を流すと、N型クラッド層からは電子、P型クラッド層から正孔が活性層に流入します。

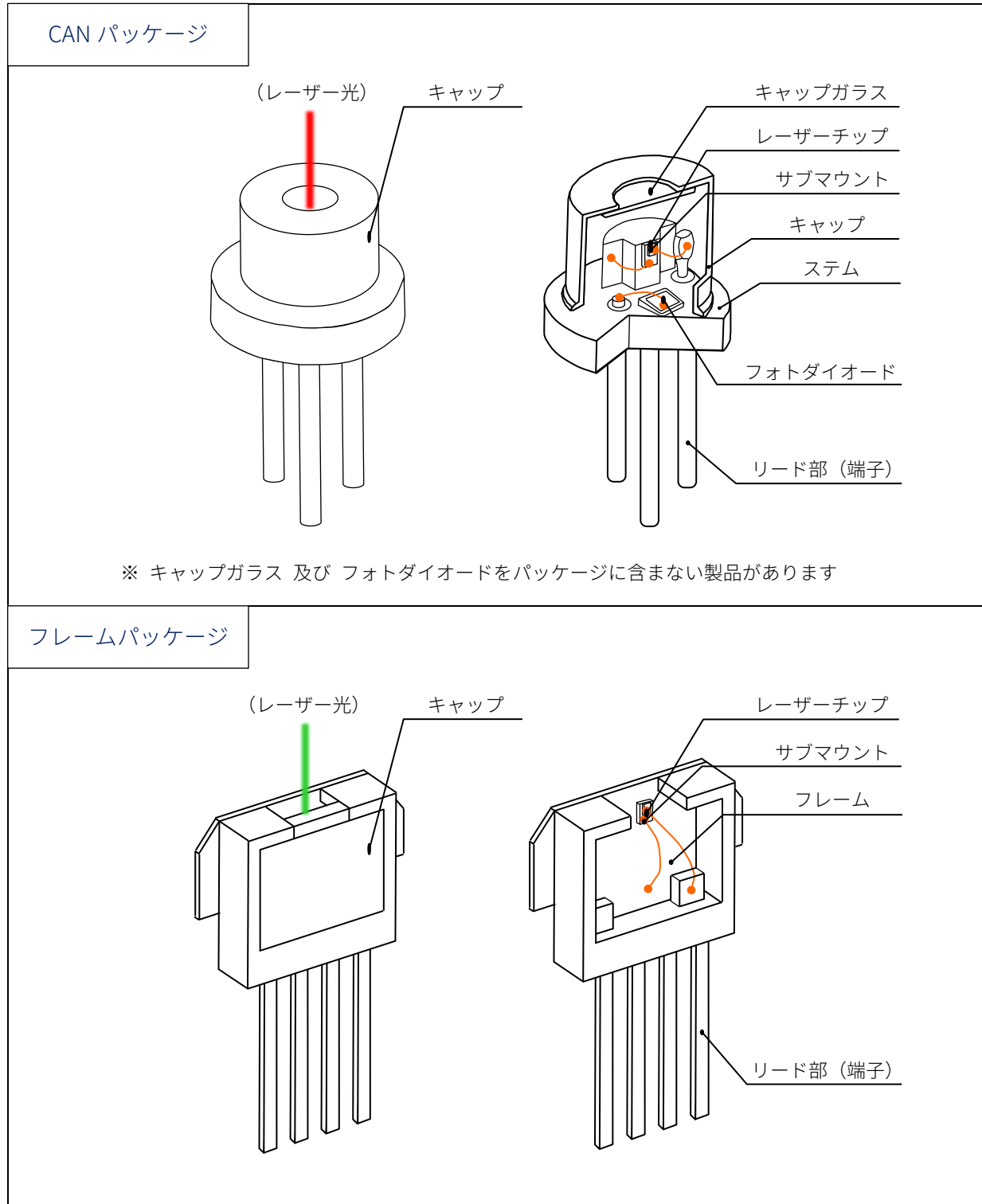
電子と正孔が再結合して光に変わり、端面で反射を繰り返して増幅された後に外部へ放射されます。



## 1. 製品の概要

### 1.1.5 半導体レーザーパッケージの構造

当社では製品の特性に合わせて、下記2種類のパッケージに組み立てて販売しております。  
くわしくは製品仕様書の外形の項をご確認下さい。



## 1. 製品の概要

### 1.2 代表的な用途

可視光の半導体レーザー（レーザーダイオード）の応用製品の代表的な用途について述べます。

#### (a) レーザー加工

レーザー加工とは、レーザー光を材料に照射することで印字、穴開け、切断、金属溶接といった加工を行う方法のことです。材料はその特性に応じて光を吸収し、そのエネルギーに応じて発熱します。この光吸収に伴う発熱から、レーザー光での切断や金属溶接が可能です。

加工対象によって求められる出力が異なります。木材やガラスへの印字など、半導体レーザーが活躍している加工もあります。その一方で、分厚い鉄板の切断加工などでは、高出力な別方式のレーザー（ファイバーレーザーや CO<sub>2</sub> レーザー）が用いられています。電気自動車の普及に伴い、バッテリーに使用される銅加工の要望が高まっています。銅はファイバーレーザーの発振波長である赤外よりも可視（特に青色）で吸収率が高く、原理上は短波長発光が可能な半導体レーザーが優位です。このような背景から半導体レーザーの光出力が向上していけば、レーザー加工の分野での可視光半導体レーザーの応用が一層進んでいくものと期待されています。

#### (b) レーザー照明

レーザー照明は、レーザー光を使用した空間演出に用いる機器です。主な構成は、半導体レーザー、コリメートレンズ、及びガルバノミラーなどの光学スキャナーと呼ばれるデバイスです。半導体レーザーから発せられた光は、レンズを介してコリメートされ、光学スキャナーによりその向きが変更されます。

1本のレーザービームであっても、光学スキャナーにより高速に走査することにより、空間的に広がった光を表現したり、多数のレーザービームを同時に見せたり、それらを動かして見せたりすることができます。また、壁面などに線画で模様や図形を描くこともできます。レーザー光の点灯方法と空間走査を適切に同期させることでアニメーション表現も可能です。さらにフルカラーのレーザー照明では、青色・緑色・赤色のレーザー光を高速に切り替えて出力することにより、様々な色の図形やアニメーションを描き出すことが可能です。

空間中でのレーザー演出に際して、レーザービームをより鮮明に見せるため、一般的にはフォグマシンなどで人工の霧を薄く満たした空間での演出が行われます。

#### (c) レーザーレベラー（レーザー墨出し器）

レーザー墨出し器は、水平・垂直の基準線を作り出す機器です。基準線を建築用語で「墨」と呼ぶことからその名前が付けられました。

可視の半導体レーザー光の特徴のうち、視認性の良さ（特に緑色光）、直進性、そして小型軽量といった点を利用されています。この特徴により小型のレーザー墨出し器が実現され、多くの建設現場で用いられています。

## 1. 製品の概要

### (d) レーザープロジェクター

レーザープロジェクターとは、その名前の通りレーザーを光源として用いたプロジェクターです。一般的に、輝度が数千ルーメンから数万ルーメンでのプロジェクター製品でこの方式が採用されています。

レーザープロジェクターには大きく 2 つの方式があります。一つは赤色／緑色／青色の 3 色の半導体レーザーを組み合わせたものです。もう一つは青色半導体レーザーと「蛍光体」を組み合わせたものです。蛍光体は青色半導体レーザーからの青色光を吸収し、緑色および赤色の成分を含む広い波長領域で発光を示し、それを緑色および赤色のカラーフィルターを通過させることで緑色および赤色の発光成分のみを取り出します。これにより青色／緑色／赤色の光を取り出し、フルカラーの映像を投影します。

比較対象として、LED およびランプ（主に水銀ランプ）を用いたプロジェクターがあります。ランプ方式と比較し、レーザープロジェクターは、長寿命、短時間での電源 ON/OFF、といった長所を持っています。ランプ方式に対する優位性は LED とレーザー方式で類似しています。

また、レーザープロジェクターにおいては、電源の立上／立下が早いという特徴があります。従来のランプ方式で約 1 分の待ち時間に対して、レーザー光源は数秒の待ち時間です。このためレーザープロジェクターは、直ぐに映像を投影したい、といった要望に応えることができます。

### (e) 光ディスク

光ディスクはレーザー光をレンズで 1 ～ 2  $\mu\text{m}$  あるいはそれ以下のサイズに集光し、ディスク上に形成された凹凸形状による情報（ピット）を読み書きするものです。代表的な光ディスクとしては、近赤外半導体レーザーを使用する CD、赤色半導体レーザーを使用する DVD、青紫色半導体レーザーを使用する光ディスクである Blu-ray があります。

光ディスクのシステムにおいて、半導体レーザーが出射したレーザー光は、コリメートレンズを通して平行光に変換され、対物レンズによりディスク上に絞られます。ディスク上には、ピットと呼ばれる穴（凹形状）が並んでいます。レーザーがピット部を照射すると、ピット面とその周辺面からの反射光同士が干渉し、弱め合うようにピット深さが設計されているため、レンズに入る光量が減少します。この反射光量の差からピットの有無を検出し、それが 0/1 のデジタル情報となります。

以上のように、コンパクトディスクは非接触で読み取りを行うため、ディスクの消耗が少なく、ほこりによる摩耗といった影響がほとんどありません。また、パルス符号変調（PCM）の利用により、優れた音質となります。また、使用するレーザーの波長が短いほど、高密度でのピットの読み書きが可能であるため、CD、DVD、Blu-ray の順に光ディスクの記録容量も大きくなります。

## 1. 製品の概要

### (f) 3D プリンター

3D プリンターとは、3 次元的 CAD モデルなどをもとにして、実際の立体造形物を作り出す装置です。3D プリンターにはいくつかの方式があり、この中でも「光造形法」と呼ばれる紫外線を照射することで硬化する液体樹脂を用いた立体造形法に半導体レーザーが用いられます。

光造形法は液槽中の光硬化樹脂の表面に部品の断面のパターンに合わせて、紫外や青紫色のレーザー光を照射することによってできた層を、幾重にも積層することによって立体の造形物を作る技術です。レーザーで断面が露光され、硬化した層は順番に重ねられる作業が繰り返され、立体物が形成されます。なお露光方式にも数種類あり、レーザー光を利用した露光としてはガルバノミラーで走査して照射する方法や DLP プロジェクターでパターンを照射する方法があります。

光造形法の利点の一つは造形速度、精度において他方式よりも優れている点にあります。細部まで再現できることから、MEMS の部品作成においても使用されます。欠点としては、造形素材が光硬化樹脂に限定されてしまうことです。光硬化樹脂は性質上化学的に不安定なため、歪みによる寸法の狂いや経年劣化による割れなどが生じやすいことにも注意が必要です。

## 2. 取扱いの注意

### 2.1 基本事項

#### 2.1.1 レーザー光について

半導体レーザー製品から放射されるレーザー光は、直視すると目に障害を与えることがあります。取扱いには十分注意して下さい。

- ・通電中に発光面を直接、あるいは、レンズ・顕微鏡・ファイバーなどを通して見ないで下さい。
- ・通電させて作業を行うときは、作業者はゴーグル（保護メガネ）を着用して下さい。  
使用するレーザーの種類・発振波長・出力を確認の上、適切なゴーグルを選んで下さい。
- ・光軸の調整などレーザー光の確認を行うときは、カメラなどを使用して下さい。
- ・発振波長が可視光領域（380～780nm）以外の製品では放射されるレーザー光が殆ど見えません。  
危険ですので取扱いには十分注意して下さい。

#### 2.1.2 使用場所について

当社の半導体レーザー製品は、以下の特殊環境下での使用を意図した設計は行っておりません。所定の性能が得られない恐れがありますので、使用される前に性能や信頼性を十分確認して下さい。

- ・水分、結露、潮風、腐食性ガスが多い環境での使用
- ・直射日光、屋外暴露、塵や埃が多い環境での使用
- ・静電気、電磁波、放射線が強い環境下での使用
- ・油、薬液、有機溶剤などの雰囲気中での使用
- ・発熱部品や可燃物が近接した位置での使用

#### 2.1.3 製品寿命について

半導体レーザー製品には寿命があります。

製品仕様書の信頼性の項に記載されている寿命値を考慮してご使用下さい。

また、2.2 項で説明するように絶対最大定格を超えた使用により寿命が短くなります。

保管および使用条件には十分に注意して下さい。

## 2. 取扱いの注意

### 2.2 最大定格

半導体レーザー製品は、安全かつ安定して動作できるように絶対最大定格を定めています。絶対最大定格を超えて使用すると、製品の破損や性能・寿命の著しい低下を招く恐れがあります。絶対最大定格を瞬時でも超えることがないように、取扱いには十分注意して下さい。

項目	絶対最大定格を超えて使用したときのリスク
光出力	製品が破損したり、性能や寿命の低下を招く恐れがあります
逆電圧	製品が破損する恐れがあります
動作温度	動作の安定性や寿命の低下を招く恐れがあります
保存温度	性能や寿命の低下を招く恐れがあります
はんだ耐熱温度	製品が破損する恐れがあります

くわしくは製品仕様書の絶対最大定格の項をご確認下さい。

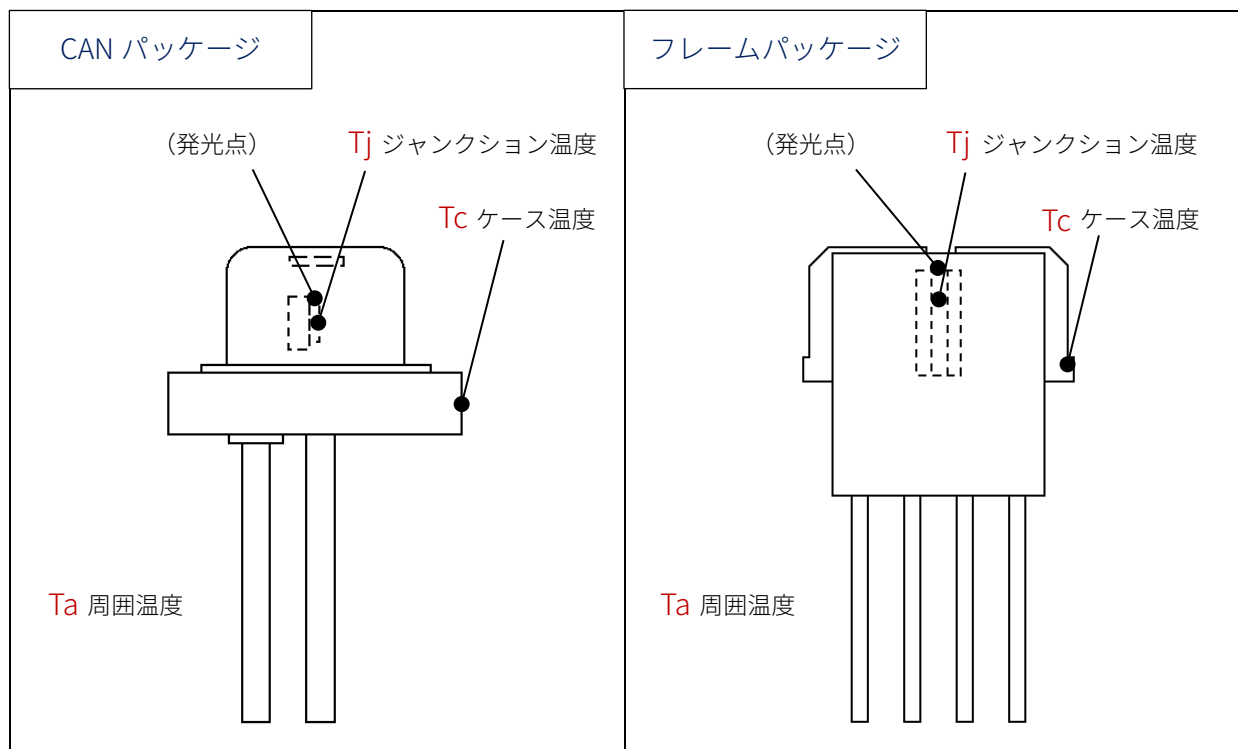
## 2. 取扱いの注意

### 2.3 放熱対策

半導体レーザー製品は、通電するとレーザー光とともに熱が発生します。放熱対策が十分でない場合、製品の温度が上昇し、性能・寿命の低下や故障の恐れがあります。発生した熱は製品そのものだけでなく、それを組み込んだ機器にも様々な影響を及ぼします。最悪の場合は、発煙したり発火したりする恐れがありますので、適切な対策を実施して下さい。レーザーチップの温度、すなわち、ジャンクション温度  $T_j$  を低く抑えることが大切です。そのために、周囲温度  $T_a$  とケース温度  $T_c$  を管理して下さい。また、回路設計・構造設計ともに、十分なシミュレーションを実施して下さい。

パラメータ		パラメータの説明
$T_a$	Ambient Temperature	周囲温度。製品周囲の大気温度。
$T_c$	Case Temperature	動作時のケース温度。仕様書で測定位置を規定。 動作時の CAN のステム部分やフレーム部分の温度。
$T_j$	Junction Temperature	ジャンクション温度。レーザーチップの温度。

※ 放熱対策として、ジャンクション温度  $T_j$  を低く抑えることが大切です。  
熱伝導率が大きく、熱容量が十分にあるアルミ製などの放熱板を使用して下さい。



くわしくは製品仕様書の絶対最大定格の項をご確認下さい。

## 2. 取扱いの注意

### 2.4 サージ対策

#### 2.4.1 静電気とサージについて

半導体レーザー製品は、静電気やサージにきわめて弱いデバイスです。

製品の破損や性能・寿命の著しい低下を招く恐れがあります。取扱いには十分注意して下さい。

項目	製品に及ぼすリスク
静電気 ※1	・人体や器具は数千Vの静電気を帯びていることがあり、帯電状態で製品に触れると、高電圧パルスが内部に侵入し破損や性能の低下に至ります
サージ ※2	・スイッチ ON/OFF は 過電圧・過電流が発生しやすい動作であり、製品が保護されていないと、高電圧・高電流によって破損に至ります

※1 静電気が放電される現象を（ESD：Electro-Static Discharge）といいます

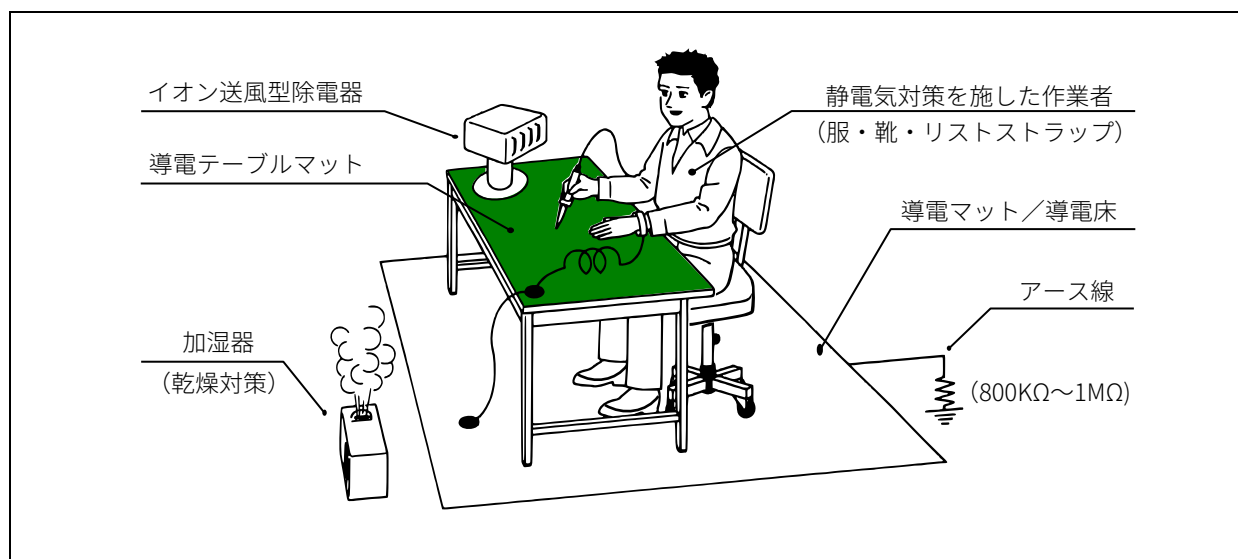
※2 サージは 過電流・過電圧ストレス（EOS：Electrical Over Stress）ともいいます

#### 2.4.2 静電気からの保護

基本的な対策は、①静電気の発生を抑制する、②静電気をすみやかに除去する の2点です。

製品の受入れから基板などへの実装（組立）に至るまで、すべての工程で対策を実施下さい。

- ・作業環境は、加湿器の使用などで乾燥を避け、相対湿度 50%～70%を維持して下さい。
- ・生産設備や測定器具は、専用のアース線を接続して静電気を逃がして下さい。
- ・静電気が発生しやすい材質（合成樹脂系など）は、作業環境から取り除いて下さい。
- ・絶縁物はイオン送風型除電器（除電ブローア）などの風を当てて、静電気を中和して下さい。
- ・導電物は 800 kΩ～1 MΩ の抵抗を介した専用のアース線で接続し、静電気を逃がして下さい。
- ・作業者はリストストラップを装着し、作業台とともに電源のアース線と同電位にして下さい。

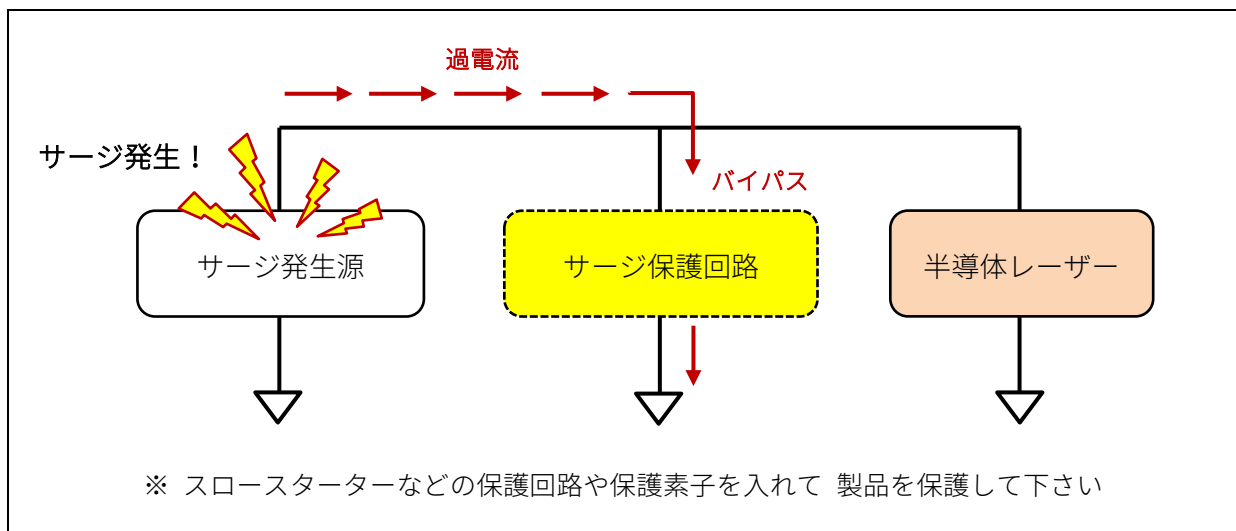


## 2. 取扱いの注意

### 2.4.3 サージからの保護

基本的な対策は、①サージの発生を抑える、②サージをすみやかに減衰させる の2点です。  
製品の取扱いに注意いただくとともに、駆動回路は設計段階からサージ対策を実施して下さい。

- ・製品の通電中に、計測機器のプローブを製品や回路の接点に接触させないで下さい。
- ・回路に使う安定化直流電源は、リップルが少なく信頼性が高いものを使用して下さい。
- ・ゼロ値からではなく、光出力から推定した電流値で通電を開始するのはおやめ下さい。
- ・回路に侵入したサージ電流を減衰させるため、必ずスロースターター回路を入れて下さい。
- ・製品を並列に接続すると、片方に過電流が流れることがあるので、直列で接続して下さい。
- ・高周波サージが発生しやすい場所での使用は、製品が劣化することがあるので注意して下さい。
- ・回路起因でサージを発生させることがありますので、十分なシミュレーションをお願いします。



## 2. 取扱いの注意

### 2.5 製品の実装

#### 2.5.1 実装前後の取扱いについて

半導体レーザー製品の基板などへの実装および前後の処理に際し、次の点に注意して下さい。

- ・製品の洗浄は、チップや構成部品を侵して破壊する恐れがありますのでおやめ下さい。
- ・リード部分のカットやフォーミングを行うときは、製品に強い負荷を加えないで下さい。
- ・製品の発光面には絶対に触れないで下さい。性能や寿命が低下する恐れがあります。
- ・塵や埃が発光面周辺に付着すると光学特性が低下します。作業環境は清浄に保って下さい。
- ・塵や汚れが付いたときは、綿棒にエタノールを付けて軽く拭きとって下さい。

#### 【CAN パッケージ】

- ・製品に対して強い力を加えた場合は、気密が保たれているか確認して下さい。  
気密が保たれていないと、製品が劣化し寿命が著しく低下することがあります。
- ・キャップガラスは割れやすいので、キャップ部分を締め付けるなど負荷をかけないで下さい。
- ・キャップガラスには絶対触れないで下さい。表面にキズや汚れが付くと光学特性が低下します。

#### 【フレームパッケージ】

- ・チップや金線に直接触れないように注意して下さい。性能や寿命が低下する恐れがあります。
- ・フレーム部分に熱が加わった状態で負荷を加えないで下さい。断線に至る恐れがあります。

#### 2.5.2 極性について

- ・半導体レーザー製品には極性があります。誤って逆に接続すると壊れますので注意して下さい。
- ・くわしくは製品仕様書の端子接続の項をご確認下さい。

#### 2.5.3 はんだ付けについて

- ・はんだ付けを行う際は、プレヒートやリフローなどによるパッケージ全体の加熱は避けて下さい。  
手はんだ付けなどによりリード部分だけの加熱を短時間に行なって下さい。

#### 2.5.4 接着剤の使用について

- ・接着剤を使用する際は、揮発成分が製品に影響することがありますので事前に調査下さい。
- ・シリコンから発生する低分子シロキサンが製品に付着すると、性能が低下する恐れがあります。

## 2. 取扱いの注意

### 2.6 保管と運搬

#### 2.6.1 保管について

半導体レーザー製品を保管する際は、次の点に注意して下さい。

- ・外部から衝撃や振動を加えたり、高所から落としたりしないようにして下さい。
- ・保管時の推奨環境は、常温（0 °C～40 °C）、常湿（40%～70%）を推奨します。
- ・クリーン袋を開封後、そのまま放置するとパッケージの吸湿やリード部分の酸化が進行します。メッキの変色や、はんだ付け性の悪化の恐れがありますので、すみやかに実装して下さい。
- ・残った製品は、窒素パージをしたクリーン袋に再包装し、開口部を封止して保管下さい。

#### 2.6.2 運搬について

半導体レーザー製品を運搬する際は、次の点に注意して下さい。

- ・外部から衝撃や振動を加えたり、高所から落としたりしないようにして下さい。
- ・クリーン袋を傷つけないで下さい。穴が開くと製品の吸湿や酸化が進行する恐れがあります。

### 3. 駆動方式と設計

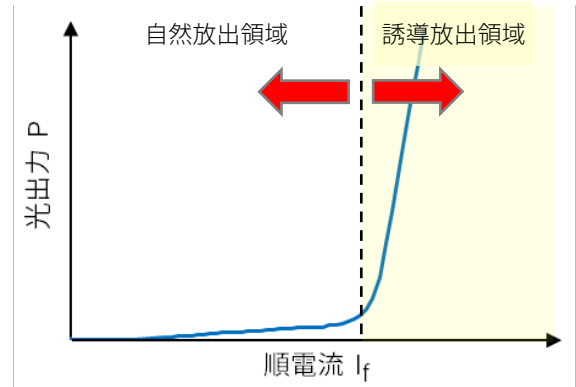
#### 3.1 基本特性

半導体レーザーは以下のような特性を示します。これらの特性を踏まえて、用途に合わせた駆動方法の選択、ならびに設計をしていただくようお願いします。

##### 3.1.1 順電流—光出力 (I-L) 特性

半導体レーザーの光放出に、自然放出領域 (EL 発光領域) と誘導放出領域 (レーザー発振領域) があり、ある電流値までは自然放出、それ以上の電流値で誘導放出となります。レーザー発振がはじまる電流値のことを、しきい値電流といいます。

誘導放出領域では、順電流と光出力はおおむね比例関係にあります。このため光出力の制御は、順方向電流の印加量で行うと細やかな制御が可能となります。

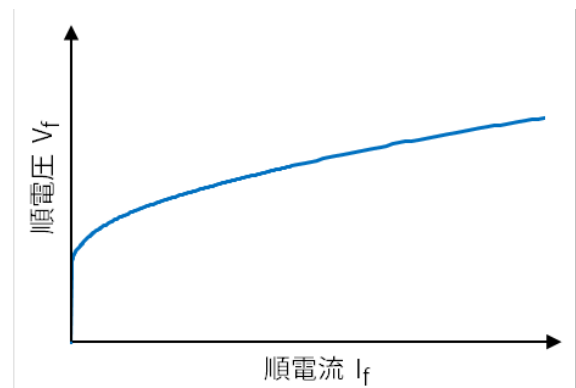


##### 3.1.2 順電流—順電圧 (I-V) 特性

半導体レーザーも一般的なダイオードと同様の I-V 特性を示します。すなわち、ある電流値までは順方向電流に対して順方向電圧が大きく増加します。それ以上の電流値になった後は、順方向電流に対して、順方向電圧はゆるやかに変化します。

このため、半導体レーザーの光量の制御は、順方向電流で行うことが一般的に望ましいと言えます。

その一方で、順方向電圧のわずかな変化が順方向電流や光出力の大きな変化につながるため、順方向電圧による半導体レーザーの光量の制御は、故障につながる可能性が高くなります。

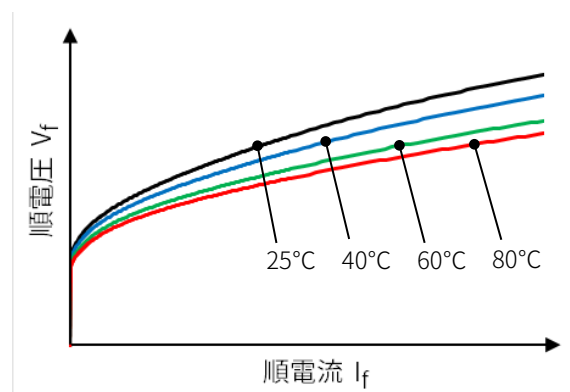
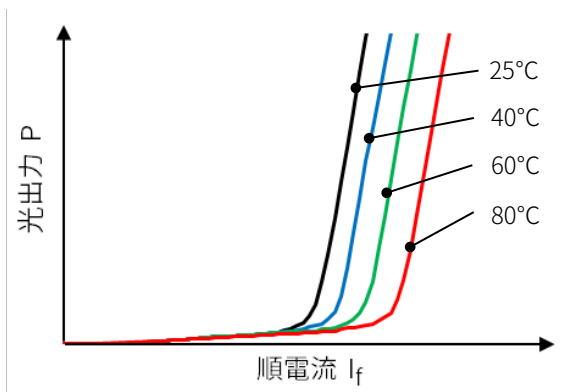


### 3. 駆動方式と設計

#### 3.1.3 温度特性

温度変化により I-L 特性、I-V 特性も変化します。前者の I-L 特性については、温度が上がると同じ順電流に対して光量が低下するという特性を示します。後者の I-V 特性については、温度が上がると順方向電圧はわずかに低下するという特性を示します。

すなわち、温度が上がると光量の低下、発光効率の低下、そして、短寿命化に繋がります。このため、定格に対して十分余裕を持った条件で、半導体レーザーを使用することが効率や信頼性の面から望ましいと言えます。よって、周辺装置の放熱性を上げ、半導体レーザーの動作温度の上昇を抑制することが設計上重要となります。



### 3. 駆動方式と設計

#### 3.2 駆動方式

##### 3.2.1 レーザー発振の形態から見た駆動方式の種類

レーザー発振の形態から見た、半導体レーザーの代表的な駆動方法について述べます。  
用途に合わせて適切な駆動方法の選択、ならびに設計をしていただくようお願いします。

- CW (Continuous Wave : 連続波) 駆動

CW 駆動とは、一定の出力を連続して発振するような半導体レーザーの駆動方法です。レーザー照射の時間を任意のタイミングで切り取っても、レーザーの出力や強度に違いが生じません。また、出力と波長を正確に制御しやすい駆動方式となります。

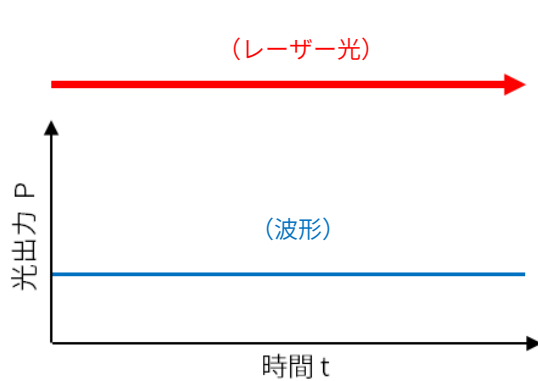
このような特徴から、CW 駆動は 長時間安定したエネルギー出力を必要とするアプリケーションに適しています。

- パルス駆動

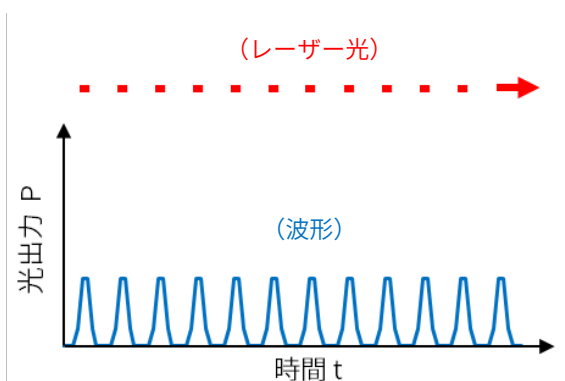
パルス駆動とは、短時間のパルス状でレーザー発振するような半導体レーザーの駆動方法です。パルスの継続時間は、ナノ秒やサブナノ秒などの非常に短い時間が設定される場合も珍しくありません。

一定の繰り返し周波数でレーザー発振させる場合もあります。光出力を変更する場合、入力電力強度を変える方式に加えて、PWM (パルス幅変調) 駆動のようにパルス幅を変更する方式があります。

このような特徴から、パルス駆動は 高いピークパワーとエネルギー密度を必要とするアプリケーションで優れた性能を発揮します。



CW駆動時のレーザー光と波形



パルス駆動時のレーザー光と波形

### 3. 駆動方式と設計

#### 3.2.2 電力印加から見た駆動方式の種類

電力の印加方法から見た、半導体レーザーの代表的な駆動方法について述べます。

用途に合わせて適切な駆動方法の選択、ならびに設計をしていただくようお願いします。

- ACC (Automatic Current Control) 駆動

ACC 駆動とは、順方向電流が一定になるよう駆動電圧を調整する制御方法です。光量が少々変化しても問題がない用途で使用される、半導体レーザーの代表的な駆動方法のひとつです。

メリット : 安価。消費電力が安定しています。

デメリット : 温度変化や経年劣化で光量が変化します。

- APC (Automatic Power Control) 駆動

APC 駆動とは、光量 (光出力) が一定になるよう駆動電流を調整する制御方法です。

光量を変化させない用途で使用される、半導体レーザーの代表的な駆動方法のひとつです。

メリット : 光量が安定しています。

デメリット : 高価。温度変化や経年劣化で消費電力が変化します。

経年劣化で消費電力が増加し、発熱量が大きくなります。

- AVC (Automatic Voltage Control) 駆動 【参考】

AVC 駆動とは、駆動電流が変化しても順方向電圧を一定に保つ制御方法です。

順方向電圧のわずかな変化が順方向電流や光量の大きな変化につながるため、制御が難しく半導体レーザーに適さない駆動方式です。

### 3. 駆動方式と設計

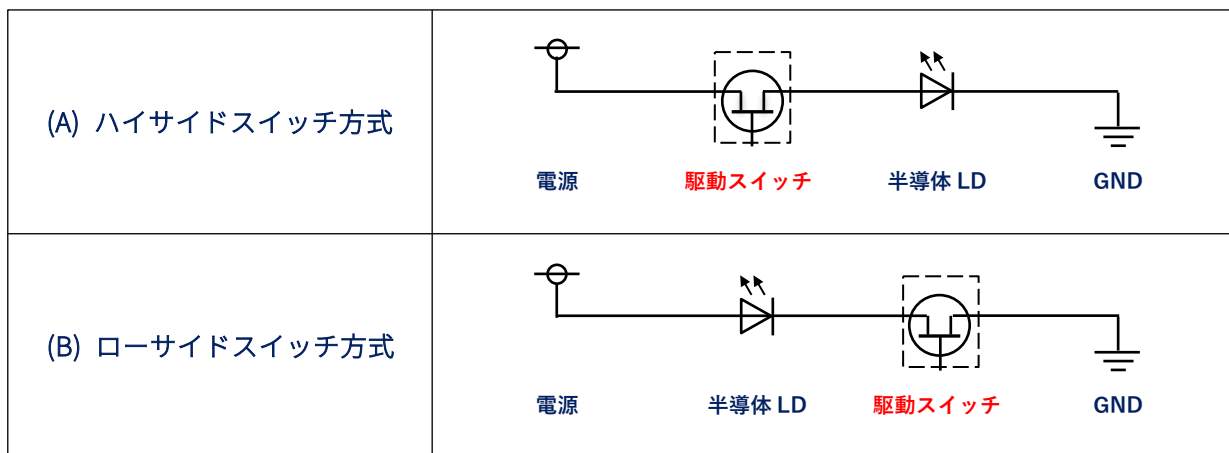
#### 3.2.3 回路・素子の保護方式の種類

回路・素子保護の観点から見た、代表的な駆動方式について述べます。

半導体レーザーに対し、MOSFET 等の駆動スイッチを上流側（電源側）に配置したものを「ハイサイドスイッチ方式」、下流側（GND 側）に配置したものを「ローサイドスイッチ方式」といいます。

用途に合わせて、適切な方式の選択ならびに設計をしていただくようお願いします。

- (A) ハイサイドスイッチ方式： 駆動スイッチを 上流側（電源側）に配置したものの  
安全性が高く、電位が安定しやすくノイズ対策に有利
- (B) ローサイドスイッチ方式： 駆動スイッチを 下流側（GND 側）に配置したものの  
回路がシンプルで済み、制御がしやすく一般的な方式

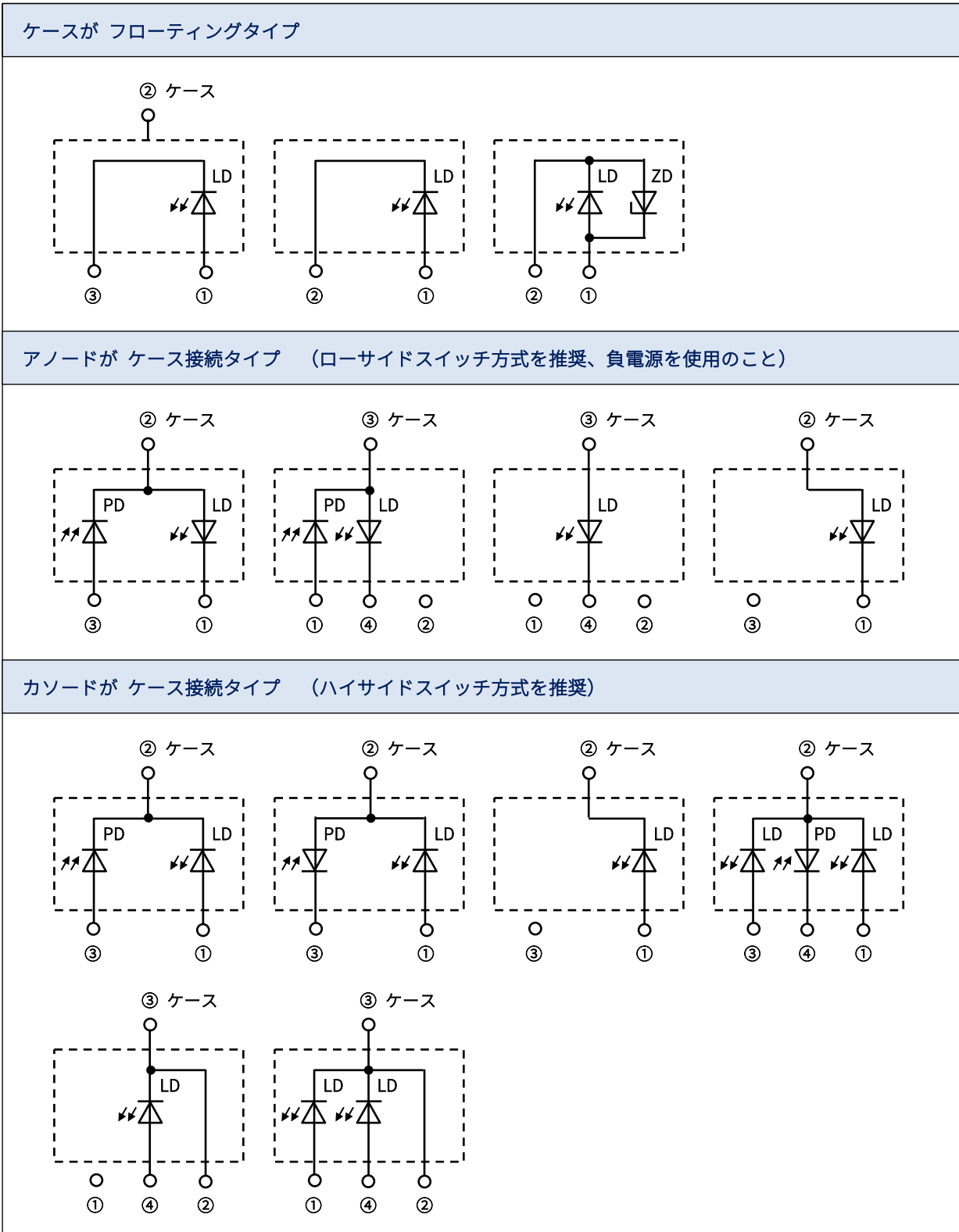


項目		ハイサイド スイッチ方式	ローサイド スイッチ方式
素子構造	ケースがフローティングタイプ	○	○
	アノードがケース接続タイプ、ケースが GND 接続 (負電源を使用)	×	○
	カソードがケース接続タイプ、ケースが GND 接続	○	×
電源	電源電圧が高電圧	○	×
	複数の電源電圧で 複数のレーザーを駆動	×	○
性能	安全性 (GND ショート故障)	○	×
	GND に対するノイズ影響	○	×
コスト	駆動回路の複雑性、コスト	×	○

### 3. 駆動方式と設計

#### 【素子構造】

端子接続の種類によって推奨方式は変わります。製品仕様書に記載がありますのでご確認ください。

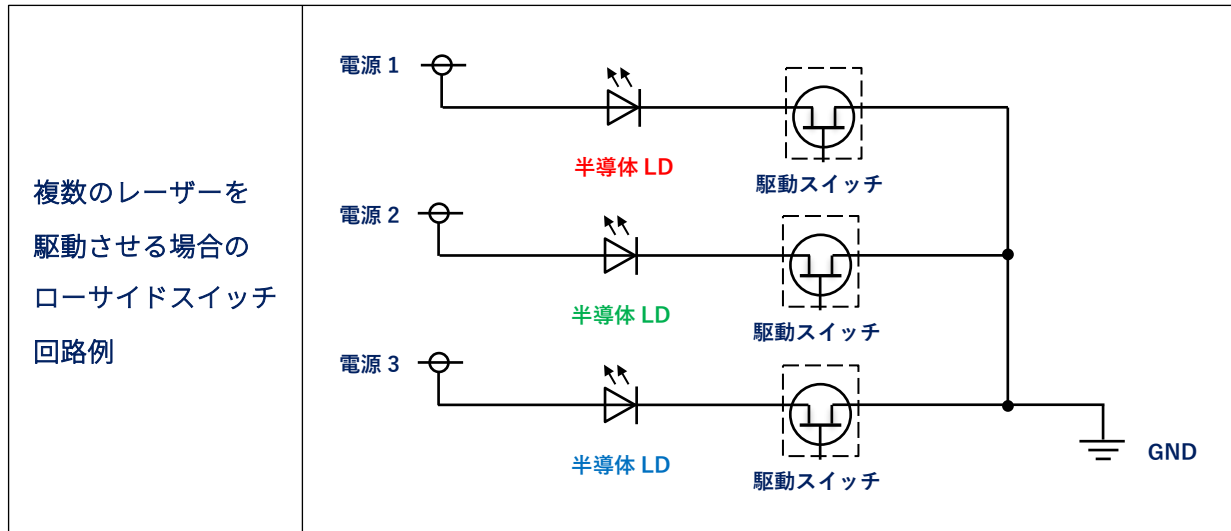


### 3. 駆動方式と設計

#### 【電源】

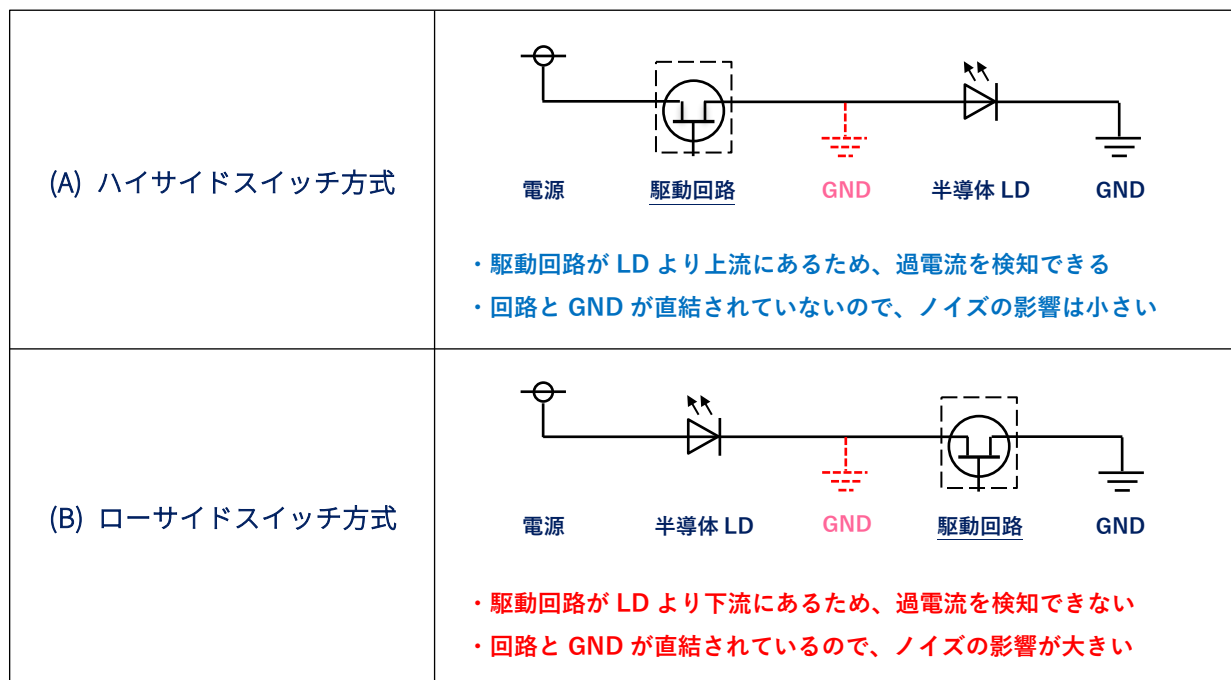
電源電圧が高電圧の場合は、ハイサイドスイッチ方式を推奨します。

複数の電源電圧で複数のレーザーを駆動したい場合は、ローサイドスイッチ方式を推奨します。



#### 【性能】

GND ショート故障のリスクを重視したい場合や、GND に対するノイズ影響を重視したい場合は、ハイサイドスイッチ方式を推奨します。

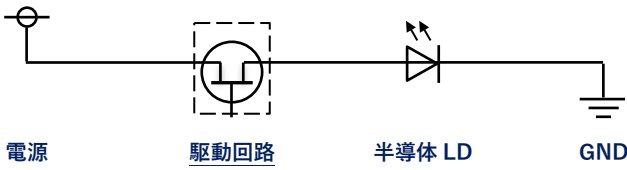
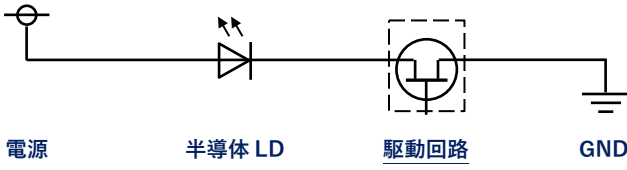


### 3. 駆動方式と設計

#### 【コスト】

ハイサイドスイッチ方式は利点が多いですが、駆動スイッチに安価な Nch MOSFET を採用した場合電源電圧より高い電圧が必要になるため、回路が複雑になりコストは高くなります。駆動スイッチに Pch MOSFET を採用した場合、電源電圧より高い電圧は不要ですが Pch MOSFET が高価なので、コストは高くなります。

ローサイドスイッチ方式は、回路がシンプルで済み、かつ安価な Nch MOSFET を採用できるので、コストを抑えることができます。

<p>(A) ハイサイドスイッチ方式</p>	 <p>電源                      駆動回路                      半導体 LD                      GND</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Nch MOSFET を採用した場合、電源電圧より高い電圧が必要で回路が複雑になってコストは高くなる</li> <li>・ Pch MOSFET を採用した場合、電源電圧より高い電圧は不要だが Pch MOSFET が高価なのでコストは高くなる</li> </ul>
<p>(B) ローサイドスイッチ方式</p>	 <p>電源                      半導体 LD                      駆動回路                      GND</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回路がシンプルで済み、かつ安価な Nch MOSFET を採用できるのでコストを抑えることができる</li> </ul>

### 3. 駆動方式と設計

#### 3.3 回路の基本設計

半導体レーザーの駆動回路設計は、用途に合わせた適切な設計と十分な検証が必要です。

##### 3.3.1 ACC 駆動回路

ACC (Automatic Current Control) は、順方向電流が一定になるよう駆動電圧を調整する制御方法で半導体レーザーの代表的な駆動方法のひとつです。温度により光量が変化するため、光量が少々変化しても問題がない用途で使用されます。光量をほぼ一定に保ちたい場合、冷却装置やペルチェ素子を使用して半導体レーザーの温度を一定に制御する必要があります。

回路図 1 において、電流検知用抵抗  $R_S$  に電流  $I_L$  が流れると抵抗  $R_S$  の上端に発生する電圧  $V_S$  は 次式で表されます。

$$V_S = I_L \times R_S \quad (\text{トランジスタ } Tr \text{ の電流 } I_B \text{ は 無視できる})$$

オペアンプ OP は、 $V_S$  と電圧  $V_{REF}$  が同じになるよう  $Tr$  の  $I_B$  を制御するため、 $I_L$  は一定値に保たれます。

$V_{REF}$ 、 $I_L$ 、 $R_S$  の関係は 次式で表されます。

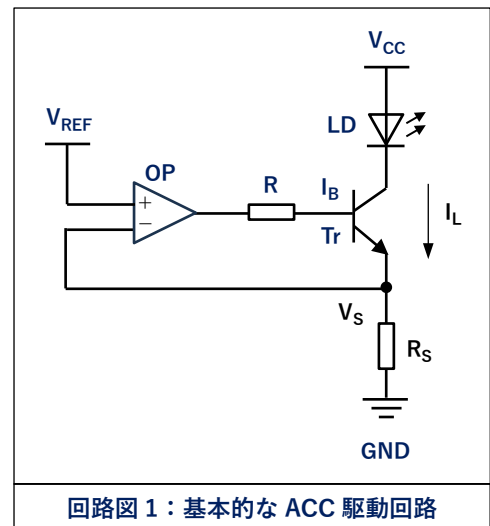
$$V_{REF} = I_L \times R_S \quad \Rightarrow \quad I_L = V_{REF} / R_S$$

##### 【設計における注意点】

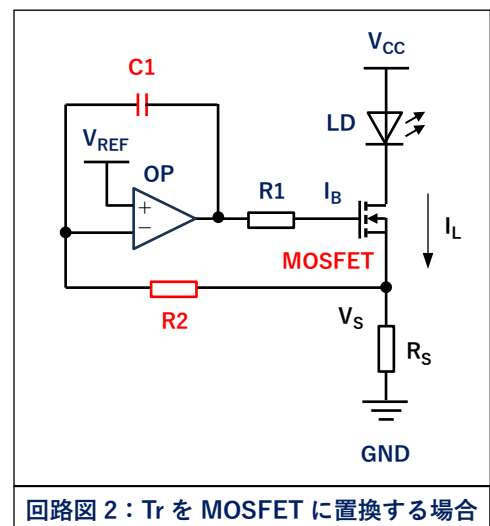
- ① 抵抗  $R_S$  の許容電力に注意すること。  
 $I_L$  が大きい場合、 $R_S$  は小さいものを選択します。  
 $R_S$  の電力  $P_R$  は、 $P_R = I_L^2 \times R_S$  で表されます。
- ② 電圧  $V_{CC}$  の選定に注意すること。  
 $V_{CC}$  が高過ぎると、 $Tr$  での損失で発熱が大きくなります。  
発熱が大きい場合は、追加で放熱対策が必要になります。  
 $Tr$  のコレクタ・エミッタ間の損失は 次式で表されます。

$$P_{Tr} = I_L \times V_{CE} \quad (V_{CE} = V_{CC} - V_f(LD) - I_L \times R_S)$$

- ③ オーバーシュート／アンダーシュートや、サージの発生に注意すること。故障の原因になる可能性があります。  
電源投入時、 $V_{REF}$  をゆっくり上昇させる（スロースタート）機構の採用が望ましいです。
- ④  $Tr$  を MOSFET に置き換えた場合、回路が発振する（電流が不安定になる）可能性があります。  
回路図 2 のように 積分回路 ( $C1 \cdot R2$ ) を追加して下さい。
- ⑤ 大電流で駆動する場合、高効率で発熱が少ないスイッチング方式電源回路の採用が望ましいです。



回路図 1：基本的な ACC 駆動回路



回路図 2：Tr を MOSFET に置換する場合

### 3. 駆動方式と設計

#### 3.3.2 APC 駆動回路

APC (Automatic Power Control) は、光量（光出力）が一定になるよう駆動電流を調整する制御方法で、半導体レーザーの代表的な駆動方法のひとつです。

光量の観測は、内蔵または外部のフォトダイオードで行い、光量がずれていればフィードバックして調整します。温度上昇および経年劣化で消費電力が増加し、発熱量が大きくなるので注意が必要です。

回路図3に基本的な駆動回路を示します。

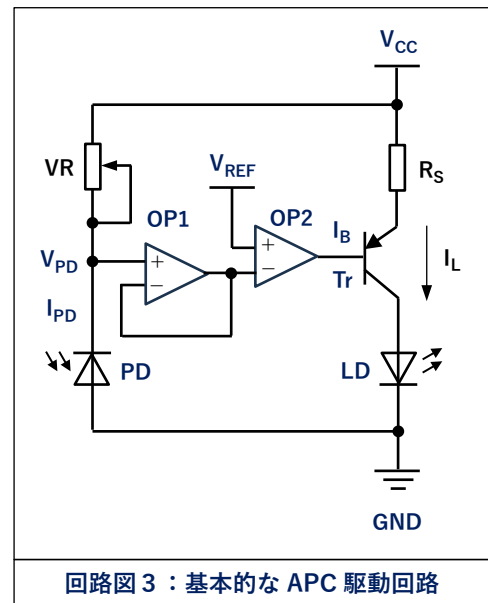
フォトダイオード PD のカソードは、可変抵抗  $V_R$  を介して電源  $V_{CC}$  に接続し、アノードは GND に接続されています。

フォトダイオード PD に入光すると、電流  $I_{PD}$  は光量に比例して増加し、電圧  $V_{PD}$  は低下します。入光していない時は電流  $I_{PD}$  はほぼ流れず、 $V_{PD}$  は  $V_{CC}$  に近い値になります。

可変抵抗  $V_R$  の抵抗は、オペアンプ OP1 の+端子に適切な電圧が入力されるよう調整します。

OP1 は、電圧  $V_{PD}$  をバッファしてオペアンプ OP2 の-端子へ入力します。OP2 の+端子には、光量を決定する電圧  $V_{REF}$  を入力します。 $V_{REF}$  を下げると光量は上がり、 $V_{REF}$  を上げると光量は下がります。

OP2 は、 $V_{PD}$  と  $V_{REF}$  が同じになるよう  $Tr$  のベース電流  $I_B$  を制御します。結果として、電流  $I_L$  が制御されて PD に入光する光量が一定になります。



回路図3：基本的な APC 駆動回路

#### 【設計における注意点】

- ① 可変抵抗  $V_R$ 、 $V_{REF}$  の調整に注意すること。  
調整の際は、 $V_R$  は  $V_{PD}$  を最小に、 $V_{REF}$  を最大に設定して開始して下さい。  
調整が不適切な場合、電源投入時に半導体レーザーが破壊される可能性があります。
- ② 過電流に注意すること。  
半導体レーザーが故障等で光量が不足しても、異常を検知できず  $I_L$  は増大し続けます。  
回路の故障や不安全な状態になる可能性があるため、過電流保護回路の追加を推奨します。
- ③ オーバershoot/アンダershootや、サージの発生に注意すること。  
故障の原因になる可能性があります。  
電源投入時、 $V_{REF}$  をゆっくり下降させる（スロースタート）機構の採用が望ましいです。
- ④ 大電流で駆動する場合、高効率で発熱が少ないスイッチング方式電源回路の採用が望ましいです。

### 3. 駆動方式と設計

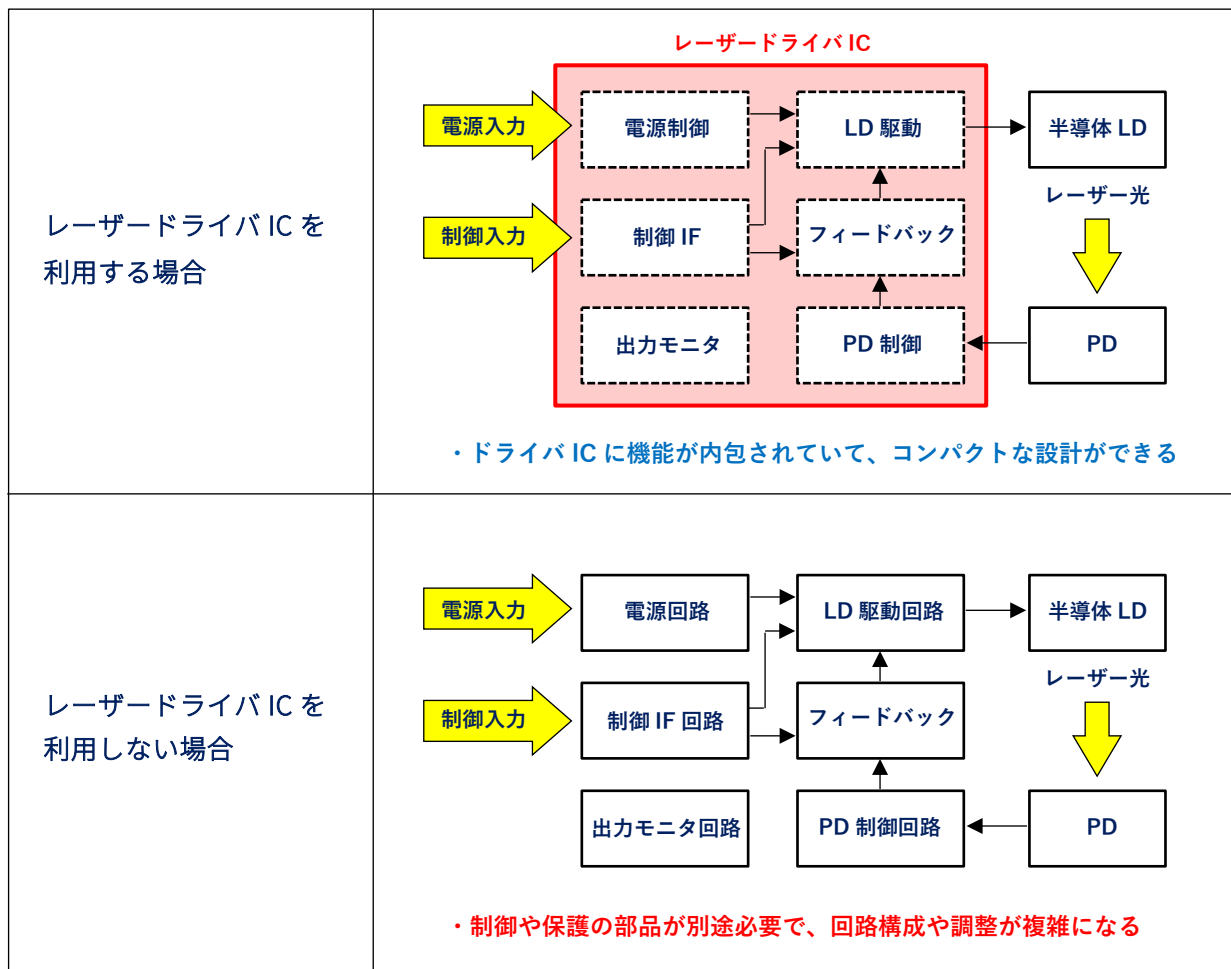
#### 3.4 レーザードライバ IC の活用

ここでは、半導体レーザー専用に設計されたドライバ IC について述べます。

回路設計にあたり、汎用部品を組み合わせる「ACC 駆動回路」や「APC 駆動回路」を設計する方法がありますが、専用に設計された「ドライバ IC」を活用する方法もあります。

ドライバ IC を活用することで、回路設計が容易になるなどメリットは多いですが、メーカーが少なく品種が少ない点が課題です。

- ・メリット : 回路がコンパクトで済み、設計が容易になる  
過電流や短絡の保護機能を内蔵していることが多く、信頼性が高い  
温度補償回路を内蔵しているドライバ IC は、安定した動作が期待できる  
変調やパルス出力に対応したドライバ IC は、複数の動作モードに対応できる
- ・デメリット : 光通信用途の IC では選択肢が多いが、その他用途の IC は選択肢が少ない  
とくに高出力に対応した IC は選択肢がほとんどない

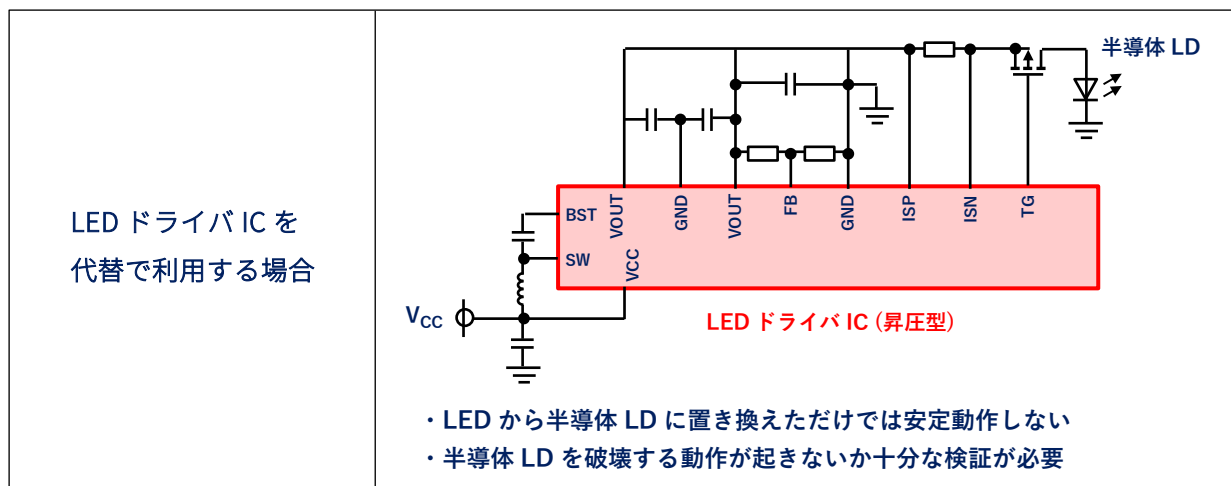


### 3. 駆動方式と設計

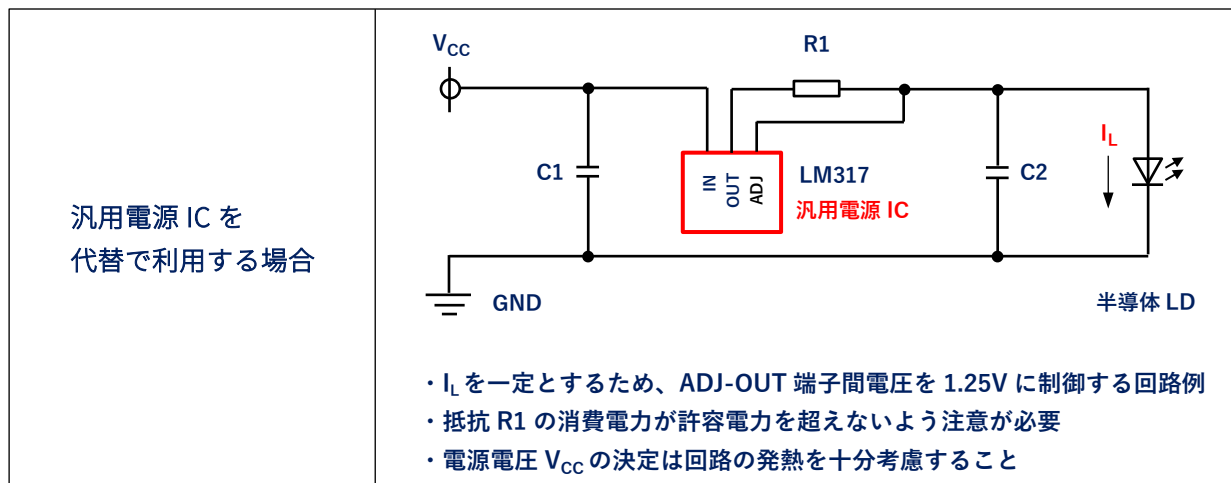
#### 3.5 LED ドライバ IC、汎用電源 IC の活用

ここでは、半導体レーザーを駆動できる代替ドライバ IC について述べます。  
LED はレーザーと特性が似ているため、条件付きで LED ドライバ IC を代替として利用できます。  
汎用電源 IC についても、LED ドライバ IC と同様に条件付きで代替として利用できます。

- ・メリット : 安価で入手しやすく品種が多い、大電流の駆動にも対応できる  
設計に必要な資料が充実しており、容易に回路設計できる
- ・デメリット : 半導体レーザーの駆動を前提にしていないので、事前に十分な検証が必要  
LED では問題ない過電圧や過電流が、半導体レーザーを破壊する可能性あり  
代替としてそのまま利用した場合、ACC 駆動回路になることが多い  
APC 駆動回路に変えたい場合、フィードバック回路が追加が必要



汎用電源 IC を代替で利用して、ACC 駆動とする場合、例として下記のような設計ができます。



### 3. 駆動方式と設計

#### 3.6 レーザー駆動用電源モジュールの活用

ここでは、半導体レーザー専用に設計された電源モジュールについて述べます。単体で動作する電源モジュールのほか、機器組み込みに対応した電源モジュールが存在します。高価なため安価な製品への採用は難しいですが、比較的容易に半導体レーザーを駆動できます。用途に合わせて、適切な電源モジュールを選択していただくようお願いします。

(1) 電流範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切な電流範囲のモジュールを選択すること</li> </ul> <p>最大出力電流に余裕があり過ぎるモジュールを選択すると、出力電流の細かい調整ができなかったり、低域部の出力が不安定になったりすることがあります。</p>
(2) 電圧範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切な電圧範囲のモジュールを選択すること</li> </ul> <p>赤色レーザーや赤外レーザー用途の電源モジュールは、順方向電圧が低いため緑色レーザーや青色レーザーを駆動できないことがあるので注意が必要です。</p>
(3) 駆動方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切な駆動方式のモジュールを選択すること</li> </ul> <p>半導体レーザーの駆動方式は CW 駆動かパルス駆動になります。選択した電源モジュールが対応していない場合、駆動できないので注意が必要です。</p>
(4) 制御方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切な制御方式のモジュールを選択すること</li> </ul> <p>ACC 駆動回路や APC 駆動回路を組み込む場合、選択した電源モジュールが対応していないと、駆動できないので注意が必要です。</p>
(5) 外付電源	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切な外付 DC 電源を用意すること</li> </ul> <p>電源モジュール自体を駆動させるため、必要に応じて十分な容量をもった外付 DC 電源の選択と、適切な電圧設定が必要です。</p>
(6) 安全機構	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切な安全機構を選択すること</li> </ul> <p>電源モジュールには、過電流・過電圧・温度異常などを検知する安全機構が組み込まれていますが、その動作で障害が発生しないか検証が必要です。</p>
(7) 外部制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部の制御が必要か確認すること</li> </ul> <p>単体で動作可能なものと、マイコンや PC を経由して外部から制御するものがあるため、用途に合わせた電源モジュールを選択する必要があります。</p>
(8) 放熱機構	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切な放熱機構を用意すること</li> </ul> <p>電源モジュールで大電流を扱うと発熱量が大きいため、ヒートシンクやファンなどの放熱機構が別途必要になることがあります。</p>

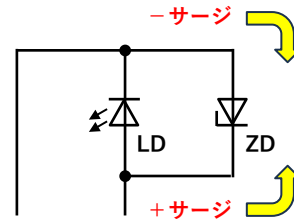
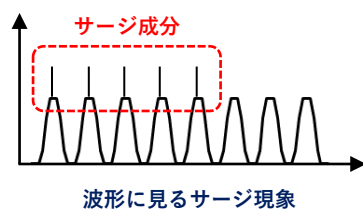
### 3. 駆動方式と設計

#### 3.7 サージ、オーバー／アンダーシュート対策

半導体レーザーは過電圧や逆電圧にとっても弱く、サージやオーバーシュート／アンダーシュートが故障の原因になる可能性があります。適切な対策ならびに設計をしていただくようお願いします。

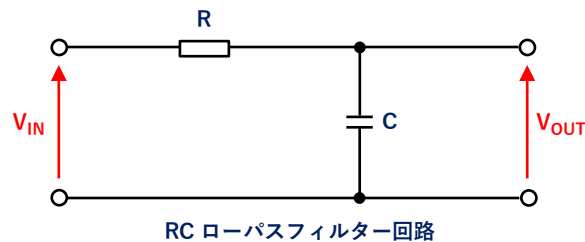
サージ対策としては以下のようなものがあります。

##### 【サージ対策】・・・ サージアブソーバを利用



- ・TVS ダイオードやツェナーダイオードなどを利用して、回路で発生したサージを逃がす仕組み
- ・規定の電圧を超えたときに電流が流れる特性を生かして、駆動電圧より高い電圧に設定して対策

##### 【サージ対策】・・・ フィルター回路を使用



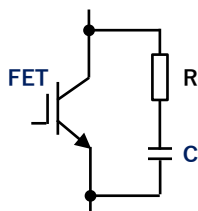
カットオフ周波数  

$$F_c = 1/2\pi R C$$

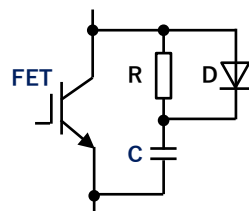
RC ローパスフィルター回路

- ・抵抗・コンデンサを組み合わせ、特定の周波数成分を通さずサージを抑える仕組み
- ・サージは高周波成分のことが多いので、ローパスフィルター回路を組み合わせで対策

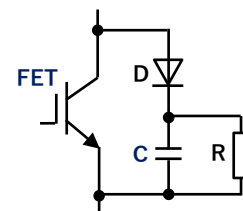
##### 【サージ対策】・・・ スナバ回路を使用



CR スナバ回路



非充電型 RCD スナバ回路



充電型 RCD スナバ回路

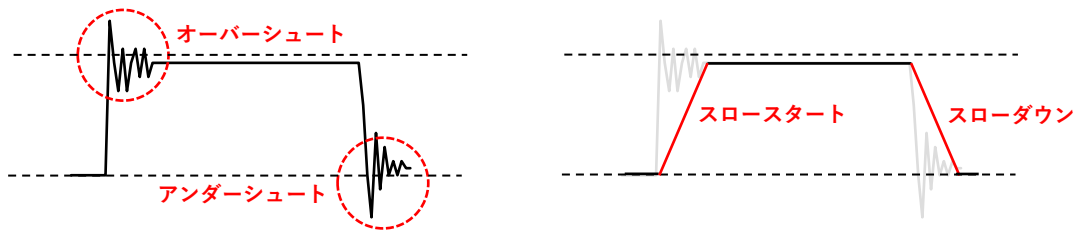
- ・抵抗・コンデンサ・ダイオードを組み合わせ、スイッチング素子からのサージを抑える仕組み
- ・抵抗・コンデンサは急激な電圧変動を抑制し、ダイオードは誘導負荷の逆起電力を抑制

### 3. 駆動方式と設計

次に、オーバー／アンダーシュート対策について述べます。

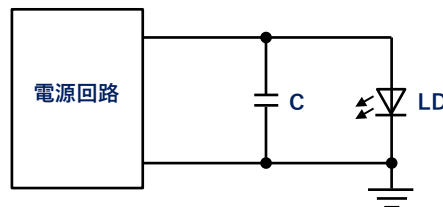
この現象は半導体レーザーに通電した瞬間や非通電にした瞬間に発生しやすく、回路の LC 共振やノイズ、配線からの反射が主な原因です。半導体レーザーの故障や、寿命の低下につながる可能性がありますので適切な対策ならびに設計をしていただくをお願いします。

#### 【オーバー／アンダーシュート対策】・・・ スロースタート／ダウン回路の使用



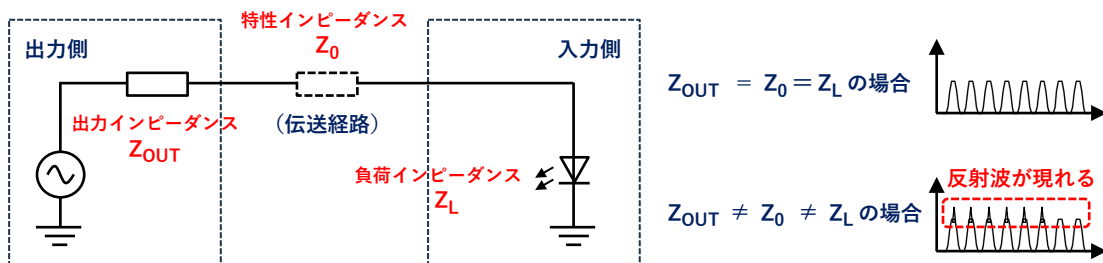
- ・立ち上がりを緩やかにして突入電流から保護、立ち下りを緩やかにして誤動作を防止する仕組み
- ・コンデンサの充放電を利用した回路の使用が基本だが、プログラム制御により実現する方法もある

#### 【オーバー／アンダーシュート対策】・・・ 平滑用コンデンサを使用



- ・平滑用コンデンサを駆動回路の出力段に挿入し、充放電により電圧変動を緩やかにする仕組み
- ・短時間で ON/OFF する場合は、コンデンサの放電手段が必要

#### 【オーバー／アンダーシュート対策】・・・ インピーダンスマッチング



- ・出力側＝伝送経路＝入力側となるようインピーダンス ( $Z$ : 抵抗成分) を一致させる仕組み
- ・インピーダンスの一致で信号反射が抑えられ、素子の保護・誤動作の防止・効率の向上につながる

## 4. 放熱対策と設計

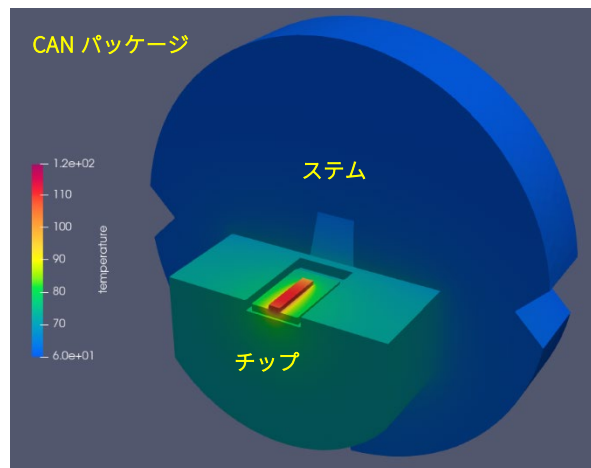
### 4.1 放熱対策

#### 4.1.1 放熱対策の重要性

半導体レーザーデバイスは、一般的に小さく細長いチップ（ダイとも呼ばれる）を有します。このチップに投入された電気エネルギーは、その一部が光に変換されて外部に放出され、光に変換されなかったエネルギーは熱となります。光出力 6W の青色レーザーを例にした場合、順方向電流  $I_f=4\text{A}$ 、順方向電圧  $V_f=4\text{V}$  とすると 16W で駆動することになります。この時、光に変換されなかった約 10W（投入電力 16W - 光出力 6W）の熱がチップから排出されますが、そのほとんどはチップの底面からパッケージに伝わっていきます。仮にチップの底面積が  $0.4\text{mm}^2$  だったとすると、チップの実装面での発熱密度は  $2.5\text{kW/cm}^2$  となります。

これは、原子炉の被覆管表面の約  $0.2\text{kW/cm}^2$ 、ホットプレート表面の約  $0.01\text{kW/cm}^2$  と比較すると、発熱密度としては非常に大きな値です。

（下線部出典：塚本ら、「京」にみる冷却技術、日本伝熱学会誌、第 52 巻、220 号、21-26 頁、2013）



有限要素法による熱伝導解析で温度分布を可視化した例

半導体レーザーデバイスの寿命は、その発光機能を担うチップの温度（「ジャンクション温度」と呼ばれる）により大きく変化します。ジャンクション温度が高くなるほど寿命が短くなり、絶対最大定格を超えるような高温になると、著しく急速な性能の低下、製品寿命の低下、故障につながります。

前述のように、チップの発熱は伝熱表面積に比べて大きなものなので、適切な放熱設計を施さないと、簡単にジャンクション温度が絶対最大定格を超えてしまいます。

このため、半導体レーザーデバイスでは絶対最大定格としてケース温度と電流が規定されており、それを満たすような放熱設計が必要となります。ケース温度を定格内に保つように適切な放熱対策を施して使用することで、非常に小さい領域（チップ）から発生した熱を外部に排出させ、ジャンクション温度を絶対最大定格内に保って使用することができるような構造となっています。

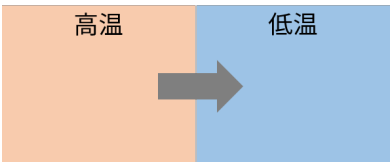
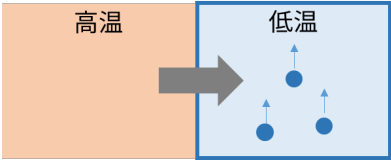
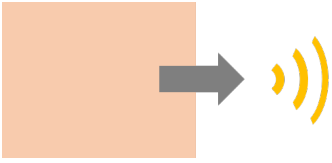
## 4. 放熱対策と設計

### 4.1.2 放熱経路

一般的に熱の移動経路は、以下の3種類に分類できます。

放熱の手段として、最初に考慮する経路は「熱伝導」になります。

- (A) 熱伝導 : 分子の振動が物質内を伝播することによる、物質内部の熱エネルギー移動
- (B) 熱伝達 : 流体への熱移動と、流体の移動による熱エネルギーの伝達
- (C) 輻射 : 電磁波による空間内の熱エネルギーの伝播

(A) 熱伝導		物質内のエネルギー移動 熱伝導率：物質固有のパラメーター
(B) 熱伝達		流体の移動によるエネルギー伝達 熱伝達率：物質固有ではない
(C) 輻射		電磁波によるエネルギー移動 物質固有ではない

#### (A) 熱伝導

デバイス内部のような密閉された構造や、デバイスを搭載したモジュール単体の熱設計を行う際には熱伝導が最も重要で基本的な熱移動の経路となります。熱伝導は、物質固有のパラメーターである熱伝導率（単位：W/m・K）を用いて特徴づけられます。物体内部での熱移動は、「熱流束は温度勾配に比例する」という熱伝導のフーリエの法則により記述することができます。熱移動量を  $Q$  [W]、熱が移動する断面積を  $A$  [m<sup>2</sup>] とすると熱流束は  $Q/A$  [W/m<sup>2</sup>] と表すことができ、フーリエの法則は次式で表されます。

$$\frac{Q}{A} = -k \frac{dT}{dx}$$

ここで、 $k$  は熱伝導率と呼ばれる比例定数であり、単位は [W/m・K] です。 $k$  が大きいほど物体の中での熱移動能力が大きいことを意味します。

## 4. 放熱対策と設計

### (B) 熱伝達

熱伝達の方法として、流体による熱移動は発熱量または発熱密度が大きい場合には有効な手段です。

その他の熱伝達の例としては、ヒートシンクと空冷ファンを用いた放熱が挙げられます。ここで、流体と物体の間の熱移動に関して、「熱流束は温度差に比例する」という熱伝達のニュートンの法則により、次式で表されます。

$$\frac{Q}{A} = h(T_x - T_\infty)$$

$h$  は熱伝達率と呼ばれる比例定数であり、単位は  $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$  です。 $h$  が大きいほど、流体と物体の間の熱移動が大きいことを意味します。なお、熱伝達率は物性値ではなく、流束、圧力、物体の表面形状によって変化する値です。

### (C) 輻射

電磁波によるエネルギー移動現象です。電磁波による伝搬であるため、真空中のように媒質がない場合でも熱が伝わります。

## 4. 放熱対策と設計

### 4.1.3 熱抵抗とは

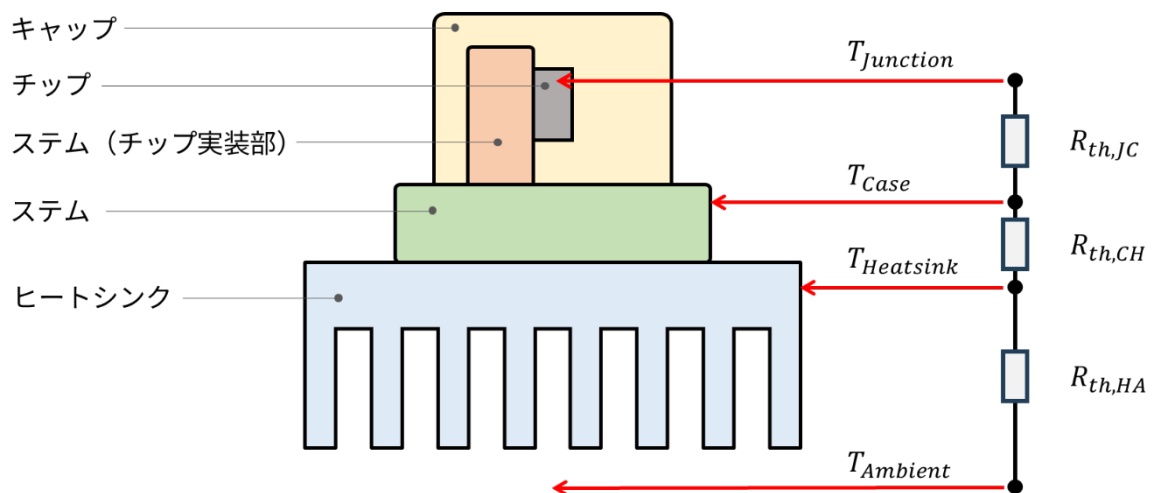
これまで述べたように、半導体レーザーデバイスの寿命は、チップ温度である「ジャンクション温度」によって大きく変わります。しかしながら、ジャンクション温度を直接測定することは困難なため、ジャンクション温度管理のために、ある位置から別のある位置までの熱の流れやすさ（流れにくさ）である「熱抵抗」という概念が適用されます。熱抵抗の単位は[K/W]で、投入電力あたりの熱の流れやすさとして熱抵抗が定義されます。熱抵抗の定義から分かるように、電気回路における電気抵抗と類似の考え方であり、熱と電気の流れは同様な記述が可能です。

半導体レーザーデバイスにおいては、温度の測定点として、例えば、CAN ステム側面（ケース温度）を設定し、この温度測定点とジャンクションとの間の熱抵抗を求めます。これにより、ケース温度と投入電力からジャンクション温度を求めることができるようになり、適切な温度管理が可能となります。投入電力、熱抵抗、ジャンクション温度、ケース温度の関係は、以下の式で表すことができます。

$$T_J = (V_{op} \cdot I_{op} - P_{out}) \cdot R_{th} + T_c = P_{in} \cdot (1 - WPE) \cdot R_{th} + T_c$$

ここで、 $T_J$ はジャンクション温度 [K]、 $V_{op}$ は動作電圧 [V]、 $I_{op}$ は動作電流 [A]、 $P_{out}$ は光出力 [W]、 $R_{th}$ は熱抵抗 [K/W]、 $T_c$ はケース温度 [K]、 $P_{in}$ は投入電力（ $V_{op}$ と  $I_{op}$ の積）[W]、 $WPE$ は発光効率（投入電力に対する光出力の比率）です。

さきほど熱抵抗と電気抵抗の類似性について述べたように、熱回路と電気回路の類似性から、熱回路においても等価回路を記述することができます。半導体レーザーデバイスの熱等価回路は、以下のように記述できます。



半導体レーザーデバイスの簡略な実装構造と熱等価回路

## 4. 放熱対策と設計

### 4.2 放熱の基本設計

#### 4.2.1 放熱設計の考え方

ここまで、半導体レーザーデバイスは、発熱が大きく寿命がジャンクション温度により決まること、その温度管理のためケース温度を管理すること、放熱が重要であることを述べてきました。

本節では、放熱設計の基本的な考え方について述べます。

半導体レーザーデバイスの構成および前述の熱等価回路からわかるように、チップ（ジャンクション）からの発熱はケース（CAN パッケージ）、ヒートシンク、そして外気を通して放熱されます。チップの発熱は、目標となる光出力を得るために投入する電力で決まり、熱抵抗の値は半導体レーザーデバイスの構成により決まっているため、ケース温度を下げることはジャンクション温度を下げることに繋がります。ケース温度を下げるためには、ヒートシンクへの熱の流れを良くする（ケースとヒートシンクとの間の熱抵抗を下げる）、ヒートシンクの温度を下げる、の 2 点が必要で、以下のような対策が有効です。

- ・ヒートシンクへの半導体レーザーデバイスの実装に、高い熱伝導率を持つ放熱ペーストを使用する。
- ・ネジを使用した治具でデバイスをヒートシンクへ実装する場合には、ネジの締付トルクを管理する。
- ・ヒートシンクの熱容量、熱伝導率を大きくする。
- ・（ヒートシンクの温度を下げるために）ファンの設置や水冷などにより周囲温度を下げる。

#### 4.2.2 温度測定

熱電対による表面温度測定の場合を想定して、半導体レーザーデバイスのケース温度を測る場合の注意点について述べます。基本的な考え方は以下ようになります。

- ・適切な熱接合を形成する（正しく測定点に熱電対を接触させる）
- ・デバイス温度に影響を与えない（測定点を通じた熱のやりとりを抑制する）
- ・想定温度範囲を測定できる材料を選定する（熱電対の種類により測定できる温度範囲が異なる）

これらを踏まえると、具体的な注意点は以下ようになります。

- ・熱電対の選定：種類、線の太さの推奨
- ・熱電対の先端：溶接が望ましい
- ・熱電対の位置：仕様書に規定するケース温度の測定場所で固定
- ・配線上の注意：線自体が放熱経路にならないようにする  
テープなどで配線を固定する場合、温度に影響しない場所で配線を固定する


## 4. 放熱対策と設計

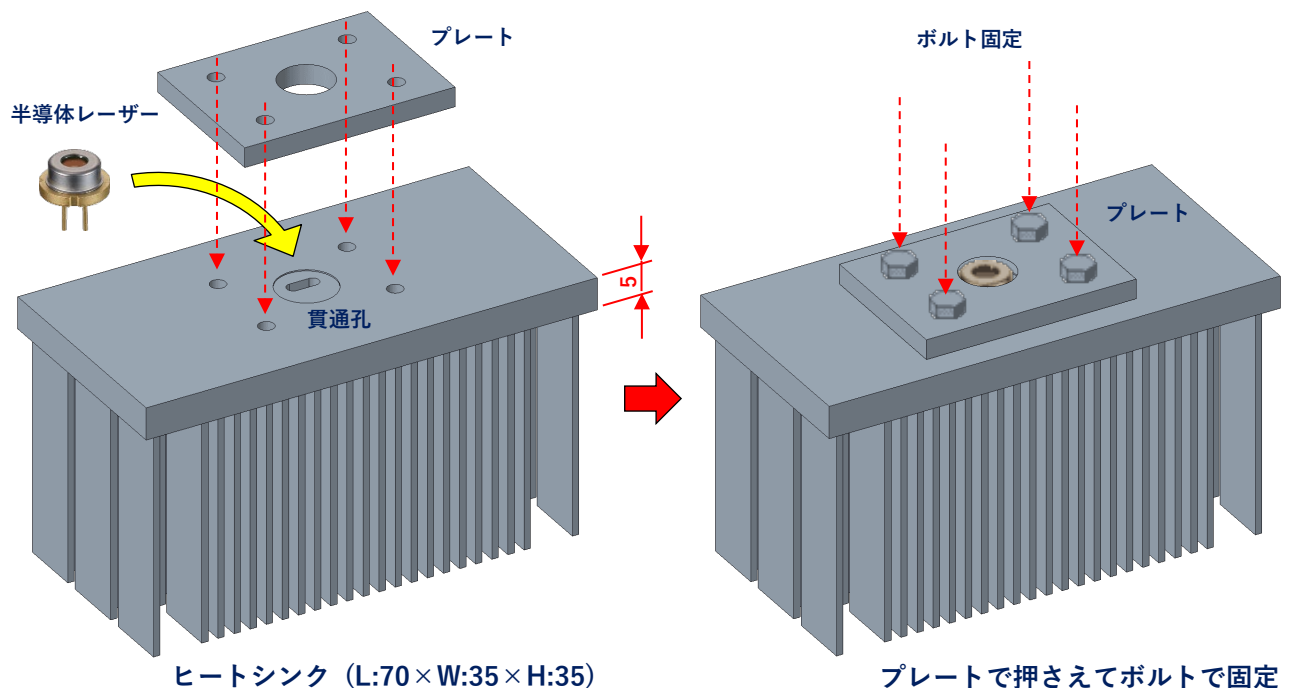
### 4.3 放熱設計の事例

ここまで、半導体レーザーデバイスの放熱設計の重要性と、基本的な考え方を述べてきました。本節では、実際に半導体レーザーデバイスと放熱部品を組み合わせた放熱設計の事例を紹介します。

#### 4.3.1 シミュレーションを活用した放熱設計の準備

本節で行う放熱設計の条件を説明します。半導体レーザーとヒートシンクを用意し、自然空冷・強制空冷の場合で放熱をシミュレーションと実測で検証します。

半導体レーザーデバイスの仕様・シミュレーションの内容	
	<p>φ9.0mm CAN パッケージ            光出力 6W クラス 半導体レーザーダイオード            ケース温度 定格：0~60            総アルミニウム製のヒートシンクと組み合わせて 熱シミュレーション</p>



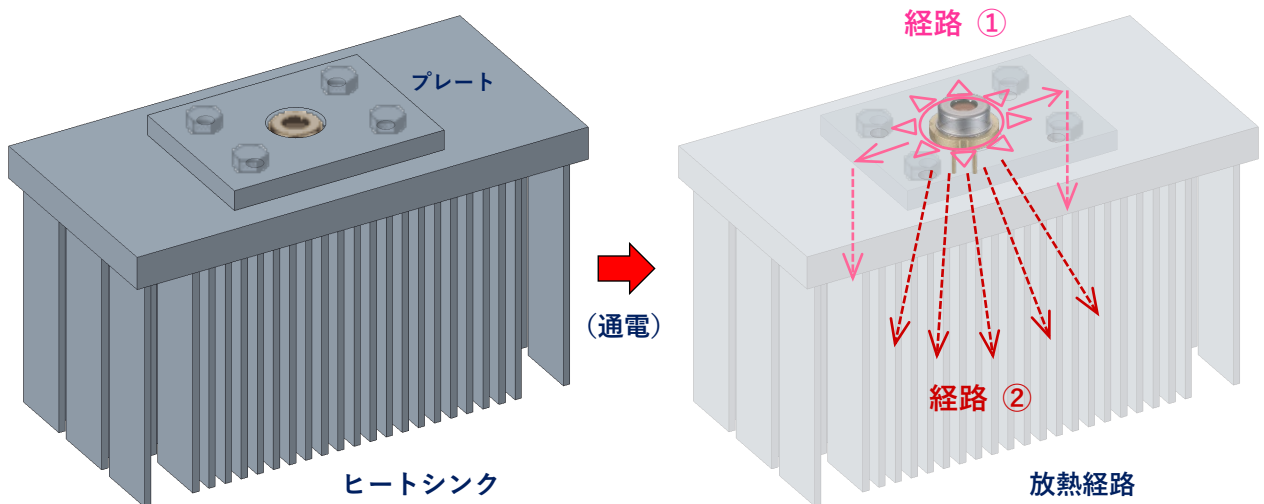
ヒートシンクにある貫通孔にリード線を通し、その一端を半導体レーザーデバイスに取り付けた上、ヒートシンクに装着しました。レーザーデバイスとヒートシンクを密着させるため、プレートで半導体レーザーデバイスを上から押さえ、周囲4ヶ所を均一なトルクでボルト締めします。

#### 4. 放熱対策と設計

この半導体レーザーデバイスとヒートシンクで、ケース温度を仕様内で駆動させるための放熱条件を検証します。下図のように半導体レーザーデバイスの熱がヒートシンクへ伝わる経路は 2 つ考えられます。

- 経路①： ステムの上面から プレートを経由して ヒートシンクへ熱を伝える
- 経路②： ステムの底面から そのままヒートシンクへ熱を伝える

プレートとステム上面の接触面積よりもヒートシンクとステム底面の接触面積が大きいこと、また放熱フィンがより近くにあること、から経路②が主たる放熱経路となると考えられます。この考えの下、ヒートシンクのフィン側の冷却効果をシミュレーションと実測により検証します。



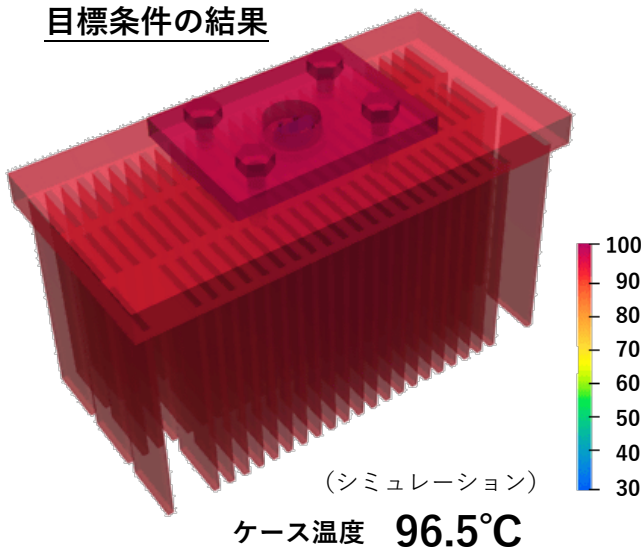
## 4. 放熱対策と設計

### 4.3.2 自然空冷の事例

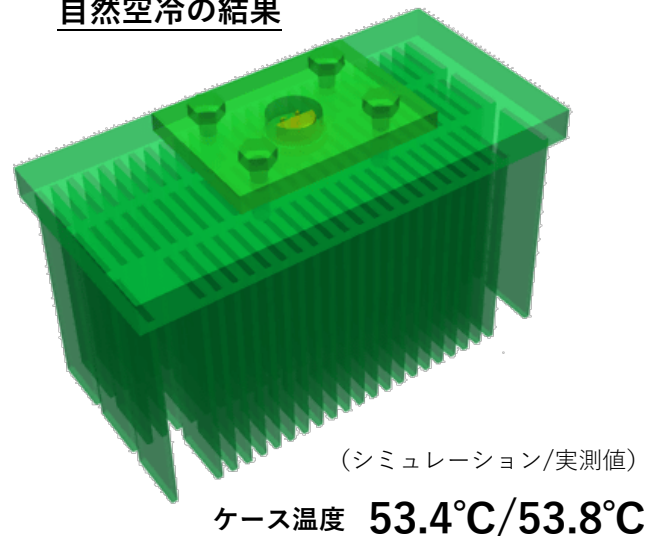
「半導体レーザーデバイスを 光出力 6.0 W で動作」させることを目標の動作条件として、周囲温度 27°C の環境での自然空冷が十分な放熱対策となるかシミュレーションによる検証を行います。3D モデルを構築し、有限要素法による熱流体解析で各部の温度分布を計算しました。

パラメータ	目標条件 光出力 6.0 W シミュレーション	【参考】 光出力 2.2 W シミュレーション	【参考】 光出力 2.2 W 実測
順電流 $I_f$	4.0 A	1.5 A	1.5 A
順電圧 $V_f$	4.0 V	4.0 V	4.0 V
光出力 $P_o$	6.0 W	2.2 W	2.2 W
発熱量 $Q$	10.0 W	3.8 W	3.8 W
周囲温度 $T_a$	27°C		

目標条件の結果



自然空冷の結果



シミュレーションの結果を見ると、光出力 6.0 W ・ 発熱量 10.0 W の条件では ケース温度は 96.5°C となりました。定格温度 (0~60°C) を超えているためこの条件は不適切です。これは「光出力を 6.0 W から下げる」か「他の放熱方式に変える」必要があることを意味しています。

参考までに、自然空冷で十分放熱できている例を示します。光出力を 2.2 W 程度に抑えた条件では定格 (0~60°C) 内のケース温度で使用できることがわかりました。実測でもシミュレーションの結果とほぼ一致していることを確認しました。

自然空冷はヒートシンク周りの環境に大きく左右されるため、空気の流れを阻害する障害物があると放熱が追いつかず温度が上昇してしまいます。放熱設計の自由度はあまり高くありません。

次節では、ヒートシンクに風を当てる「強制空冷」の場合に、どの程度改善するか検証していきます。

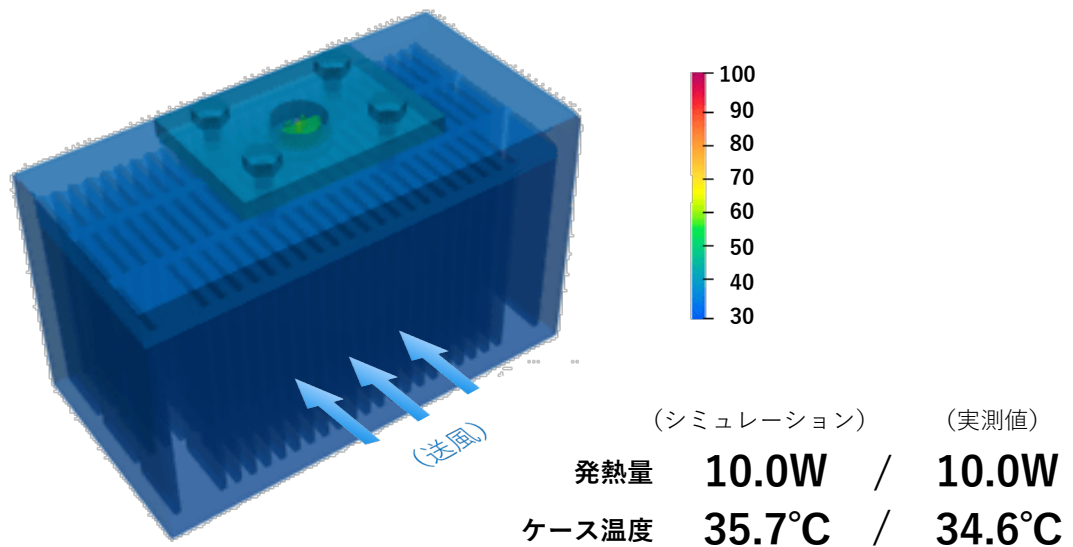
## 4. 放熱対策と設計

### 4.3.3 強制空冷の事例

次に、同じシミュレーションモデルにおいて、風を当てる「強制空冷」の検証を行います。

自然空冷モデルの側面に、ファン（最大風量 1.4 m<sup>3</sup>/min、最大静圧 90 Pa）の風を当てたシミュレーションを行います。ファンはヒートシンクの近傍に配置しました。自然空冷の場合と光出力、発熱量、周囲温度を同じ条件として、強制空冷が十分な放熱対策となるか検証を行います。

#### 目標条件の結果（パラメータは自然空冷と同じ）



※半導体レーザーデバイスとヒートシンクに加え、周囲の空気層も 3D モデル化してシミュレーション

シミュレーションの結果を見ると、強制空冷では 光出力 6.0 W・発熱量が 10.0 W の場合でも、ケース温度 35.7°C と定格内になりました。このことからファンを用いた強制空冷は、目標条件の光出力 6.0 W での半導体レーザーの駆動に対して十分な放熱対策だと言えます。実測は 34.6°C で シミュレーションとほぼ一致しており、熱設計の妥当性が検証できました。

## 4. 放熱対策と設計

### 【参考】水冷ヒートシンクの事例

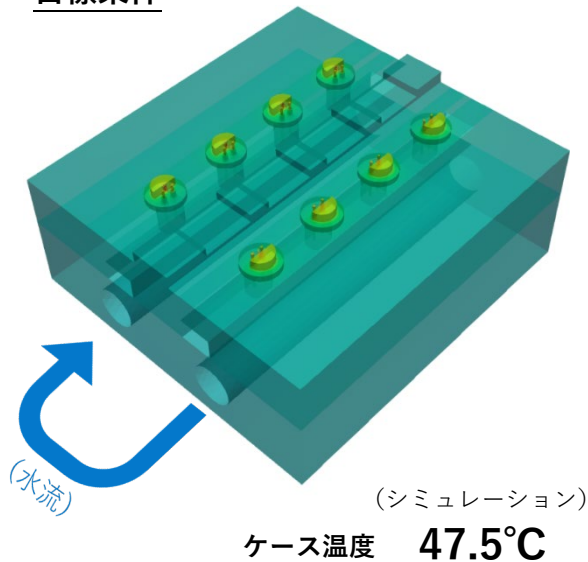
参考に、水冷ヒートシンクのシミュレーションを紹介します。

半導体レーザーデバイスを同時に複数個駆動させる場合は、強制空冷でも放熱能力が足りないことがあります。また、空気の通り道を確認することが困難な場合や装置サイズに制約がある場合には、強制空冷は不適切なケースがあります。これらの場合、水冷ヒートシンクの採用が有効な放熱対策の1つです。

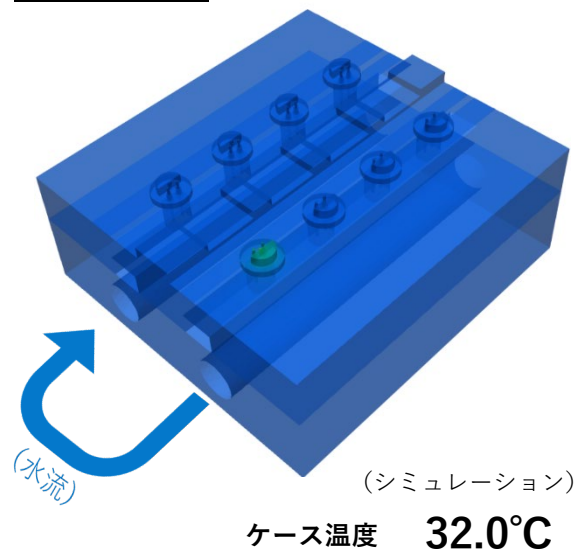
今回は、シミュレーション条件として「半導体レーザーデバイスを 光出力 6.0W で 8 個同時に動作」させることを目標として考えました。パラメータは下記のとおりです。

パラメータ	目標条件：デバイス 8 個 (シミュレーション)	【参考】デバイス 1 個 (シミュレーション)
光出力 $P_o$	6.0 W × 8 個	6.0 W × 1 個
発熱量 $Q$	10.0 W × 8 個	10.0 W × 1 個
周囲温度 $T_a$	27°C	
冷却水温度 $T_w$	25°C	
水冷ヒートシンクの材質	銅製 (表面 ニッケルメッキ)	

### 目標条件



### デバイス 1 個



シミュレーションの結果を見ると、目標条件の「半導体レーザーデバイスを 光出力 6.0W で 8 個同時に動作」させた状態でも、ケース温度は 47.5°C となっており、定格範囲内に抑えることができます。すなわち、水冷が十分な放熱対策になっていることがわかります。

また、デバイス 1 個を水冷で放熱させた結果、ケース温度は 32.0°C となりました。強制空冷と比較して、水冷にするとケース温度をさらに低く抑えられることがわかります。

## APPENDIX

## 用語の説明（1）

半導体レーザー（レーザーダイオード）を「LD」と表現しています

用語	記号	説明
レーザー発振	—	媒質にエネルギーを供給し、共振器内で光を反射・増幅させて、強いコヒーレント光（レーザー光）を発生させること。
可視光領域	—	電磁波のうち、人の目に見える 380～780nm の波長範囲のこと。波長が短い順に 紫・藍・青・緑・黄・橙・赤と呼びます。
スペクトル (波長スペクトル)	—	分光器を通すことで得られる電磁波の波長毎の強度分布のこと。活性層の化合物半導体材料や設計でスペクトルが異なります。
コヒーレント	—	光が持つ性質のことで、波同士の干渉しやすさ（位相の揃い具合）を表したもの。レーザー光はコヒーレントな光の代表例です。
ビームモード	—	LD から出力された光の形状とスペクトルの分布のこと。単一横モードと、多重横モードがあります。
単一横モード (シングルモード)	—	ビーム形状が楕円形でスペクトルが中心に集中しているモード。ビーム品質は良いが低出力です。シングルモードともいいます。
多重横モード (マルチモード)	—	ビーム形状が楕円形または複数の円形になっていてスペクトルのピークが複数存在しているモード。マルチモードともいいます。
絶対最大定格	—	LD の駆動時に絶対に超えてはならない限界値のこと。瞬時でも超えると LD の破損や著しい性能低下を招きます。
光出力	—	LD から取り出される光の量。出力方式の違いで直流光出力とパルス光出力に分けられます。
直流光出力	$P_0$	連続波駆動によって LD から光が連続的に放出される方式。出力値は時間とともに変動せず一定のレベルで持続します。
パルス光出力	$P_p$	パルス駆動によって LD から光が断続的に放出される方式。出力値は一定の間隔でオンとオフを繰り返します。
直流逆電圧	$V_{rl}, V_{rd}$	LD もしくはモニター用フォトダイオードに逆方向の電圧が加わった場合の許容電圧。この値を超えると破損に至ります。
W P E	—	電力変換効率。LD の発光効率を示す指標のこと。ウォールプラグ効率 (Wall-plug efficiency) の意味。単位は%。
周囲温度	$T_a$	LD 周囲の大気温度のこと。高温状態が続くと LD に影響が出てくるので、周囲温度を低く保つことが大切です。
ケース温度	$T_c$	CAN ステムやフレームの温度。仕様書で測定位置を定めています。LD が通電している状態の温度（動作温度）も同義です。
ジャンクション温度	$T_j$	熱源であるレーザーチップの温度。周囲温度とケース温度を制御して、ジャンクション温度を低く保つことが大切です。

## APPENDIX

## 用語の説明（２）

半導体レーザー（レーザーダイオード）を「LD」と表現しています

用語	記号	説明
保存温度	$T_{stg}$	LDが通電していない状態で、機能を損なわずに保管する温度のこと。ケース温度（動作温度）と同じ位置の温度です。
はんだ耐熱温度	$T_{sld}$	LDの実装にあたり、はんだ付け時のコテ先温度のこと。この温度を超えたコテ先をLDに当てると破損に至ります。
熱抵抗	$R_{th}$	放熱性能を評価する指標で熱の伝わりにくさのこと。周囲温度～ケース温度間の熱抵抗が高い、のように使われます。
しきい値電流	$I_{th}$	LDが光を放射するために必要な最小電流のこと。しきい値電流を超えると放射される光出力が急激に増加します。
動作電流	$I_{op}$	LDが正常に動作するために必要な順方向電流のこと。光出力との相関をみる「I-Lグラフ」でよく使われます。
動作電圧	$V_{op}$	LDが正常に動作するために必要な順方向電圧のこと。動作電流との相関をみる「I-Vグラフ」でよく使われます。
順電流	$I_f$	LDの極性にあわせて電圧を印加した際の電流のこと。順方向電流ともいいます。
順電圧	$V_f$	LDの極性にあわせて印加した電圧のこと。順方向電圧ともいいます。
ピーク発振波長	$\lambda_p$	LDがレーザー光を発振する際に、最大の発光強度を示すピーク時波長のこと。
ビーム広がり角	$\theta_{//}$ $\theta_{\perp}$	LDから放射された光について、ピーク強度の半分の幅を表したものの。 $\theta_{//}$ は水平方向、 $\theta_{\perp}$ は垂直方向を表します。
放射光軸ずれ位置	$\Delta x, \Delta y,$ $\Delta z$	レーザーチップ位置のx,y,z方向のずれを表したものの。 $\Delta x, \Delta y$ はパッケージ中心からのずれ、 $\Delta z$ は基準面からのずれ。
放射光軸ずれ角	$\Delta\theta_{//}$ $\Delta\theta_{\perp}$	基準面に対する光軸のずれを表したものの。 $\Delta\theta_{//}$ は水平方向、 $\Delta\theta_{\perp}$ は垂直方向を表します。
遠視野像リップル	RI	光出力の角度依存性におけるノイズ成分のこと。当社はピーク強度に対する規定範囲を仕様書で定義しています。
スロープ効率	$\eta_d$	レーザー発振領域における、単位駆動電流当たりの光出力の平均増加値のこと。「I-Lグラフ」における傾きに相当します。
キンク率	K-LI	動作電流と光出力の相関で、途中で曲がって傾きが変わること。当社は光学設計に影響が少ない範囲で仕様書で定義しています。
干渉パターン強度比	$\alpha$	レーザー光のコヒーレント性を表すパラメータのこと。干渉縞を形成した際の明瞭度の減衰率で表します。

## APPENDIX

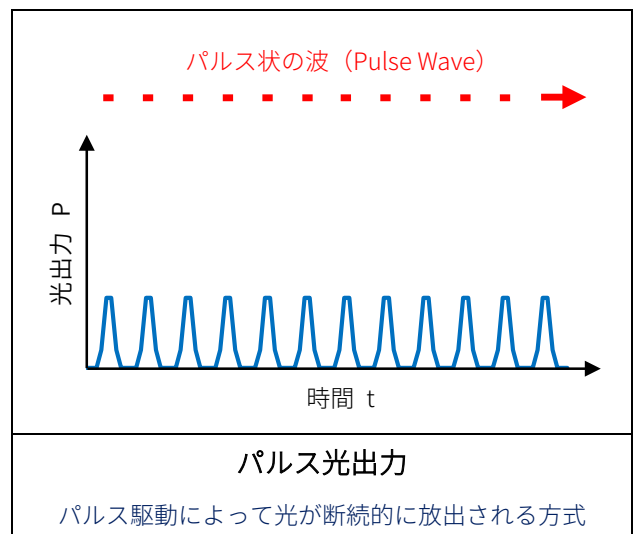
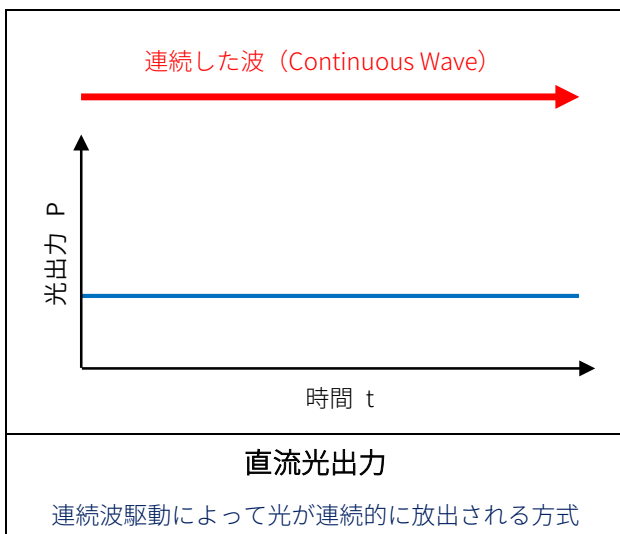
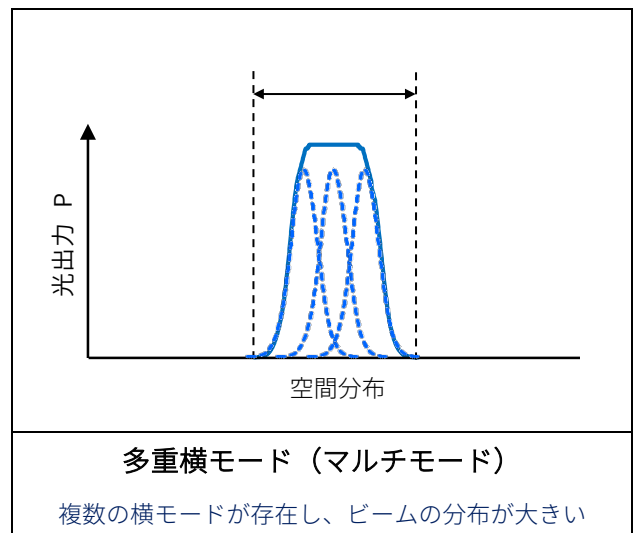
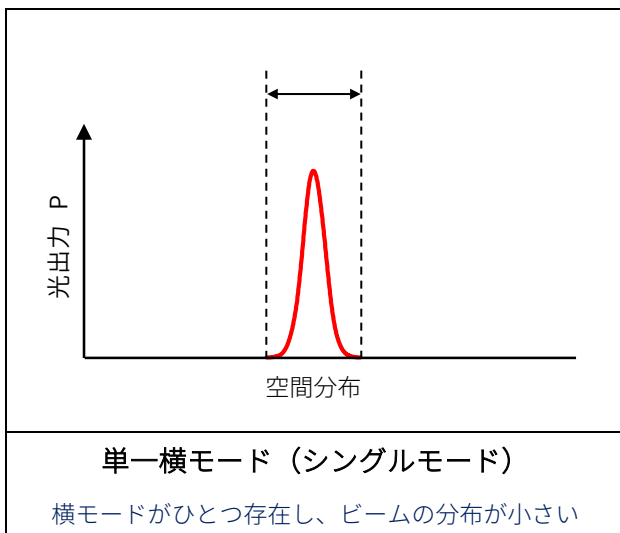
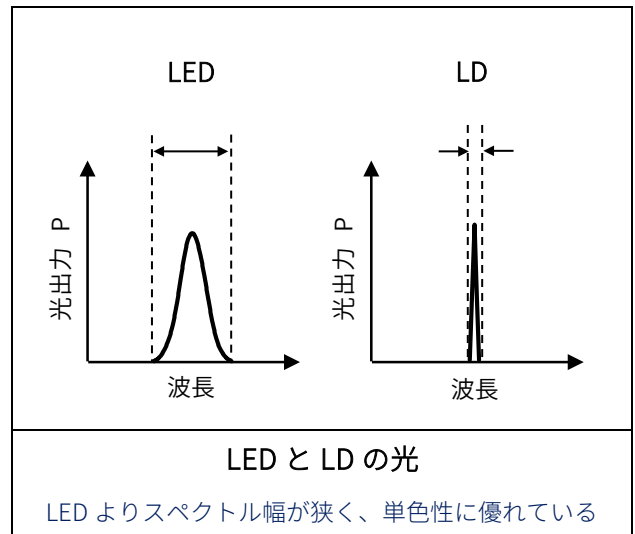
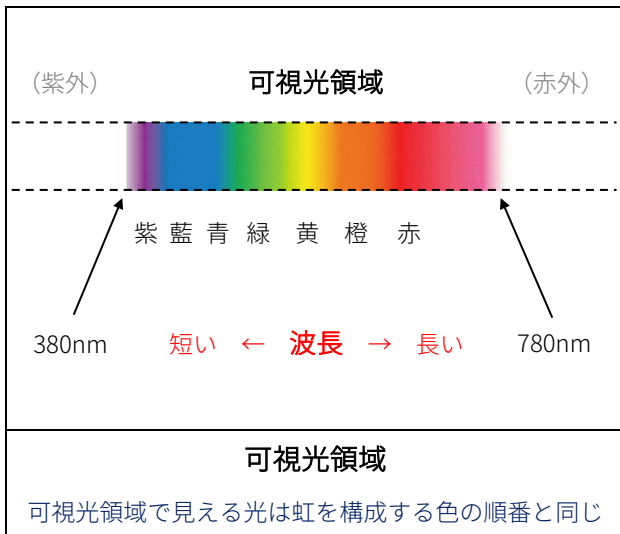
## 用語の説明（3）

半導体レーザー（レーザーダイオード）を「LD」と表現しています

用語	記号	説明
非点隔差	$\Delta A_s$	接合部に垂直な方向と水平な方向とで、みかけ上の焦点位置が異なって現れますが、この2つの焦点間距離をいいます。
モニター電流	$I_m$	LDの出力時に、逆電圧をモニター用フォトダイオードに印加した際に流れる電流値のこと。
暗電流	$I_d$	光がまったく当たらない状態で、逆電圧を印加した際にモニター用フォトダイオードに流れるリーク電流のこと。
微分抵抗	$R_d$	動作電圧を動作電流で微分したもの。小さな電流変化に対する電圧変化の比を表します。
C O D	—	LDの光出射端面が溶解し、レーザー発振が停止する現象。致命的な光学損傷（Catastrophic Optical Damage）の意味。

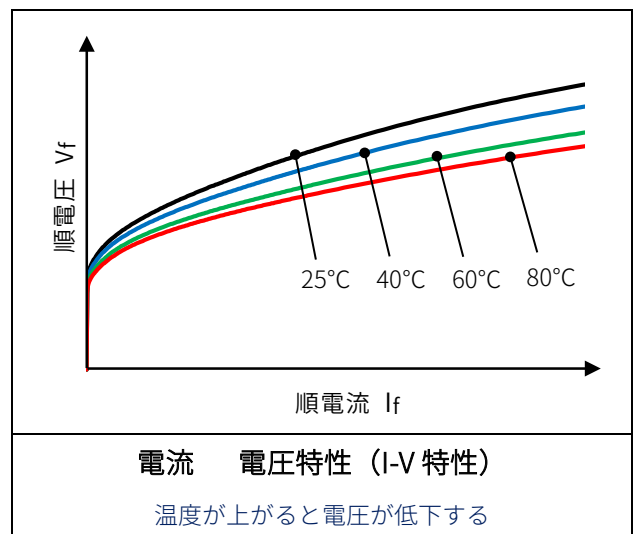
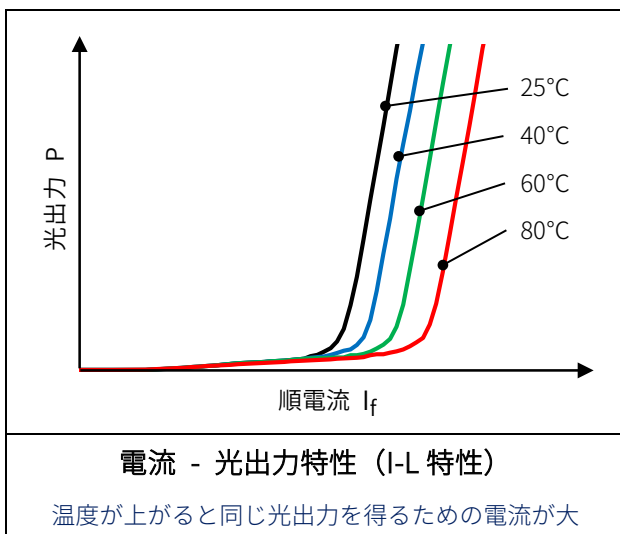
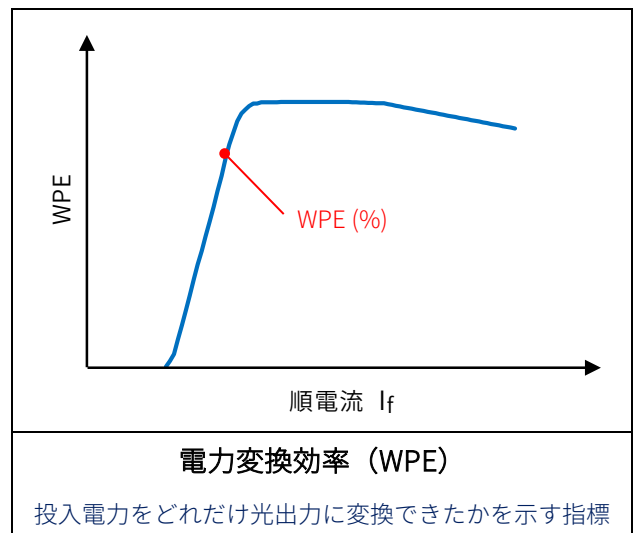
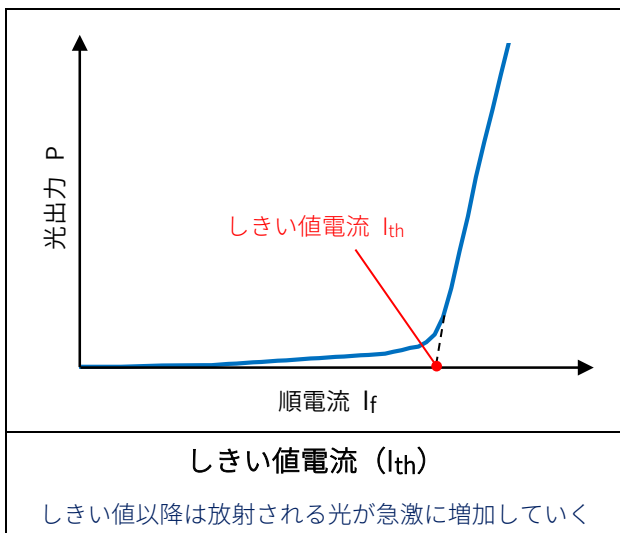
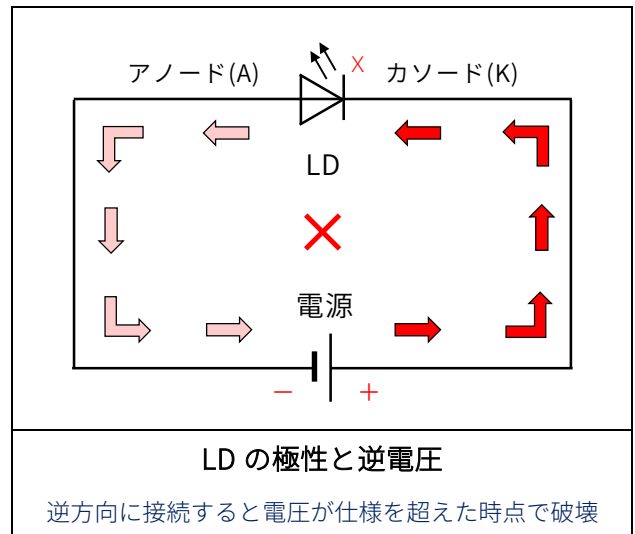
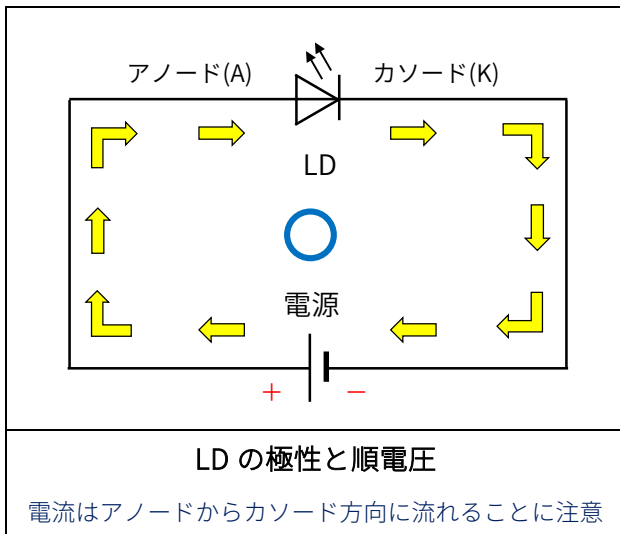
APPENDIX

図とグラフの説明（1）



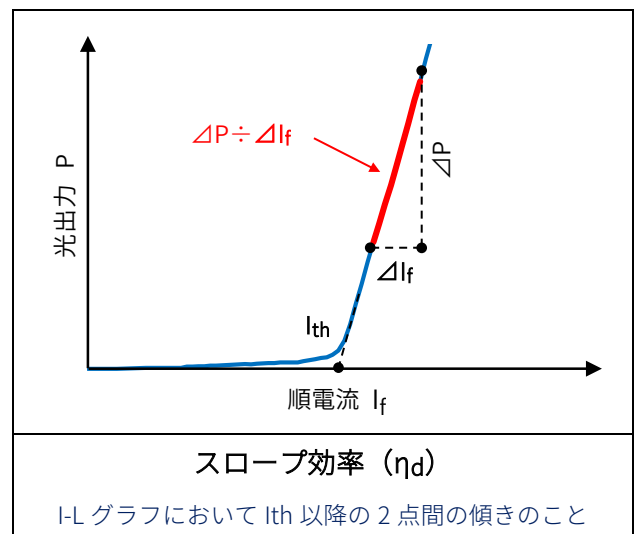
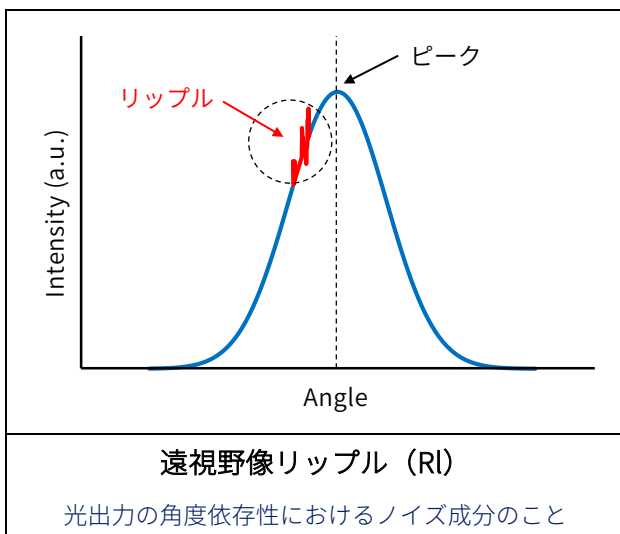
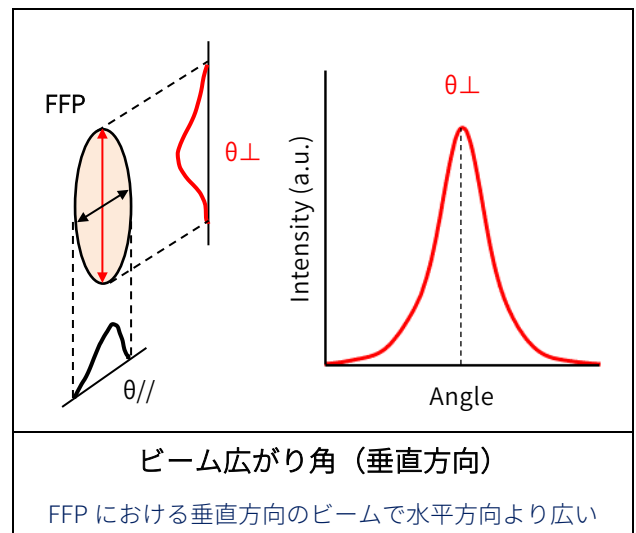
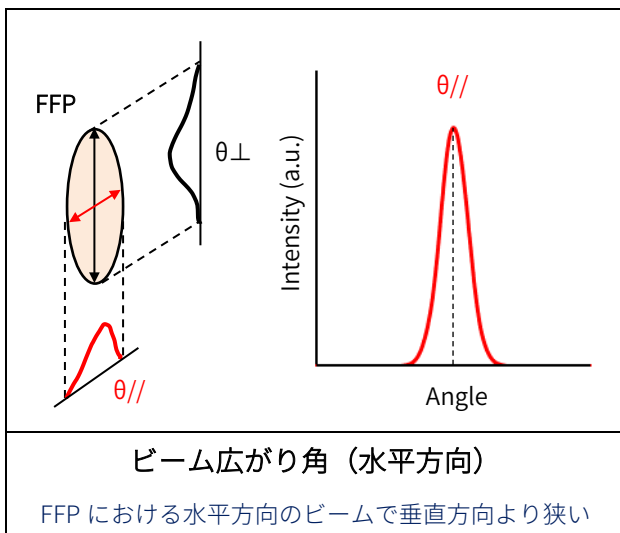
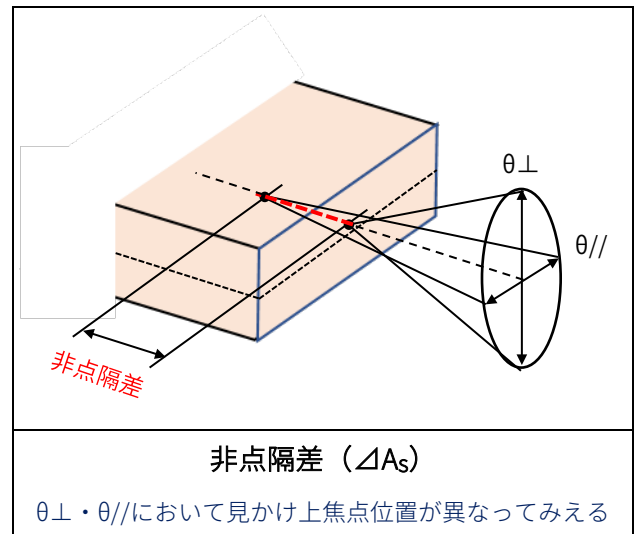
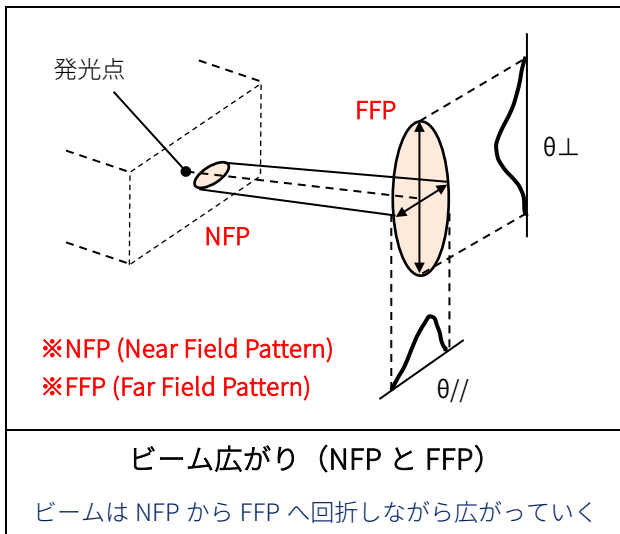
APPENDIX

図とグラフの説明 (2)



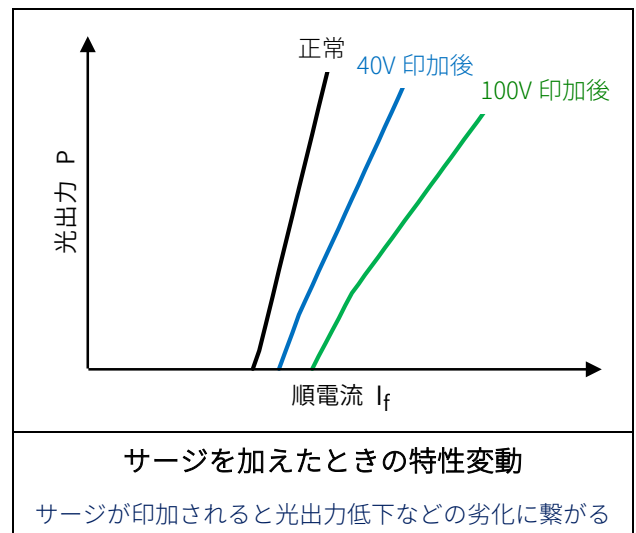
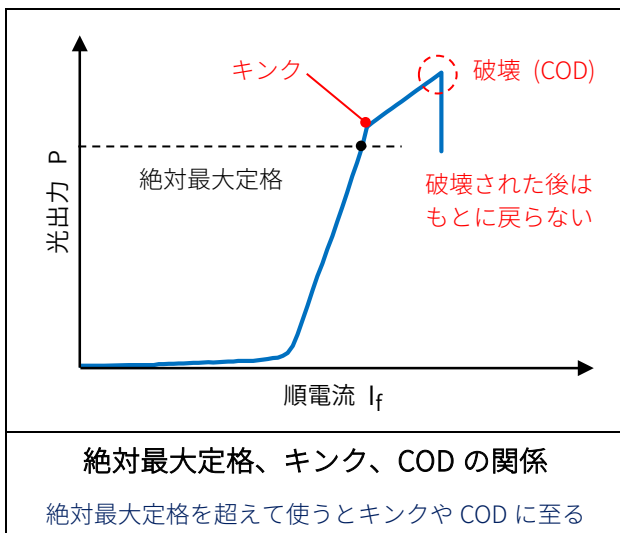
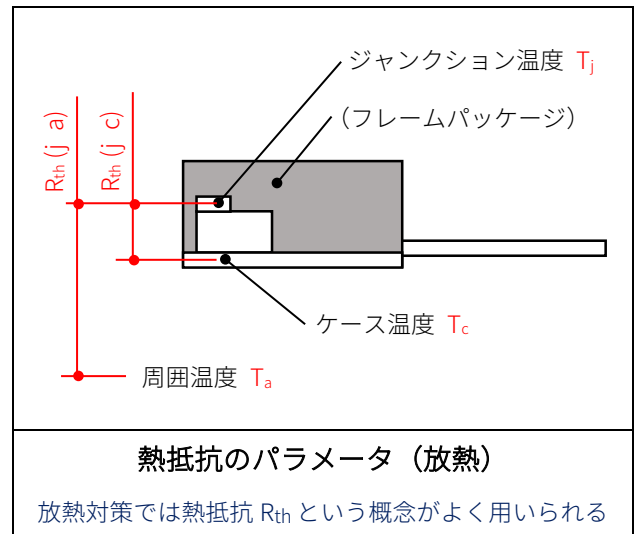
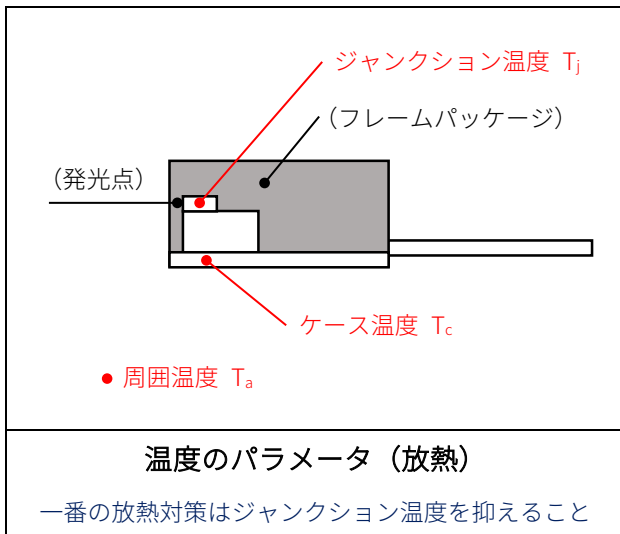
APPENDIX

図とグラフの説明 (3)



APPENDIX

図とグラフの説明（４）



## 本資料ご利用に際してお願い

- ・ 本資料の掲載内容は、改良などのため予告なしに変更されることがあります。
- ・ 本資料に記載された情報は、当社の半導体レーザー製品の取扱い方法を説明するものです。当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
- ・ 当社製品のご使用に際しては、必ず最新の仕様書をご請求いただき、内容をご確認下さい。
- ・ 当社指定の条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合、故障や誤作動を起こしたことによる不具合や事故に関して、当社は一切その責任を負いません。
- ・ 本資料に記載された情報や図表の使用に起因して紛争が発生した場合や、生じた損害に関して当社は一切その責任を負いません。
- ・ 文書による当社の事前の承諾なしに本資料を転載・複製することを固くお断りします。
- ・ 本資料の記載内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の問い合わせ窓口あるいは営業担当までお問い合わせ下さい。

## フォックスコン福山テクノロジーズ株式会社

### 本社所在地

〒721-8522 広島県福山市大門町旭 1 番地

<https://www.fft-foxconn.com/>

### お問い合わせ窓口

半導体レーザーに関するお問い合わせは ウェブサイトからお願いします

<https://www.fft-foxconn.com/contact/>