

# LD 交換に関する手順 Version 0.5

長野 重夫

平成 12 年 4 月 22 日

## 1 はじめに

TAMA 300 の光源である 10W 注入同期 Nd:YAG レーザー (10 W レーザー) のポンプ用レーザーダイオード (LD) 交換の設計と手順について述べる。今回変更されるファイバー LD (SDL: SDL-3460-P6) のスペックについては、スペックシートを参照すること<sup>1</sup>。この資料中に設計間違いや不備があったら改良してもらうことを望む。また、スレーブレザーの 2 枚のミラーは 100 mm の曲率を持っており、-220mm のレンズに相当するが、ここではその効果は無視したことを最初に述べておく。

## 2 基本設計をするに関して

ポンプ光学系設計に関しては、以下のような注意点がある。

1. Fiber-coupled LD-array の空間ビームプロファイルの計算については、基本的にはガウシアンビーム伝播すると見なして計算できるが、ファイバーのコア径  $W_f$ 、開口数 ( $N.A.$ )、発振波長 ( $\lambda$ ) から計算されるファイバー LD の  $M^2$  を用いて、 $M^2$  倍された波長 ( $M^2\lambda$ ) のレーザー光として計算すること。
2. 実際の 10 W レーザーの寸法を考慮して、新しい光学系を計算すること。  
いくら理想的な設計でも 10 W レーザーの中に入らなければ、TAMA レーザーの場合は意味がない。  
ex. ポンプ光学系の光軸方向のストローク、スレーブレザーの窓の直径、集光レンズの直径等。
3. YAG 結晶上での実際の最適なビーム径に関して、我々は情報を持っていない<sup>2</sup>。(計算上、最適なビーム径は存在する。) トライ・アンド・エラーを行って探るしかないが、どこまで手間をかけるかは作業者 (TAMA Project) の思想による。

## 3 最適スポット位置及びスポット径の計算

詳細はソニーレーザーマニュアル (SLM) に譲るとして、ここでは、どのようなパラメーターを用いてどのような式を使って計算したかだけを述べる。

<sup>1</sup>現在使用中のものは SDL: SDL-3450-P6

<sup>2</sup>最適というのは、高品質のビームと高出力が同時に得られること。

最適スポット位置

最適なスポット位置  $z_{o,opt}$  は、

$$z_{o,opt} = \frac{1}{\alpha} - \frac{L \exp(-\alpha L)}{1 - \exp(-\alpha L)}. \quad (1)$$

で計算される<sup>3</sup>。ここで、 $\alpha$  はレーザー結晶のポンプ光吸収率で、YAG 結晶に 808 nm の光が入射した場合は  $\alpha = 4 \text{ cm}^{-1}$  となる。 $L$  はレーザー結晶長で、10 W レーザーの場合  $L = 8 \text{ mm}$  である。従って、10 W レーザーの場合の結晶端面からの最適なスポット位置は、

$$z_{o,opt} = 2.16 \text{ mm} \quad (2)$$

と計算される。

最適スポット径

最適スポット径  $W_{po,opt}^2$  は、

$$W_{po,opt}^2 = \frac{c}{n\alpha} \sqrt{2M} \quad (3)$$

で計算される<sup>4</sup>。ここで、 $c = W_f N.A._f$ 、 $n$  はレーザー結晶の屈折率で Nd:YAG の場合  $n = 1.82$  である。また、 $M$  は、

$$M = \frac{Q(z_{o,opt})}{1 - \exp(-\alpha L)}. \quad (4)$$

で表される<sup>5</sup>。新しいファイバー LD のコア半径は  $W_f = 300 \mu\text{m}$ 、開口数は  $N.A. = 0.1$  である。また、 $M$ -パラメーターは  $M = 0.273$  と計算されるので、最適スポット径は

$$W_{po,opt} = 175 \mu\text{m}. \quad (5)$$

となる。ここで、ファイバー LD の  $N.A.$  に関しては測定値を使用した (付録参照)。

従って、新しい LD を用いてレーザーを励起する場合に計算から求められる最適スポット位置とスポット径は、YAG 結晶端面から 2.16 mm と 175  $\mu\text{m}$  である。

現状のポンプ光学系についての考察

10 W レーザーの現状のポンプ光学系の最適スポットサイズは  $W_{po,opt} = 190 \mu\text{m}$  と計算される。しかし、実際には 300  $\mu\text{m}$  程度まで拡げられている<sup>6</sup>。これは、実際に 10 W レーザーを運転して決められた値であると考えられる。TAMA レーザーの場合、スレーブレーザー共振器内部に偏光選択素子が挿入されていないために、レーザー結晶中で生じた熱複屈折による部分楕円偏光の悪影響が大きい。よって、ポンプ光を絞り過ぎると不具合が生じたのだと考える。従って、ここで新しいポンプ光学系設計においても計算された理想値まで絞り込まずに、300  $\mu\text{m}$  に絞ってポンプしてやることを推薦する。(この数値に確固とした理由はないが、現状でもポンプ光量が大きいとき (LD 電流が増加するとき) に出射ビームプロファイルが熱複屈折の影響を大きく受けることを考えると、理論どおり絞ってポンプするよりは、現状と同程度のスポット径にするのが安全だと考える。最適値を得るには、色々な可能性を試してみる必要がある。) 従って、以下の議論ではレーザー結晶上ではポンプ光半径を 300  $\mu\text{m}$  にするように設計することを目標にする。

<sup>3</sup>SLM p6 eq.(7)

<sup>4</sup>SLM p7 eq.(8)

<sup>5</sup> $M^2$  とは関係ないので注意。

<sup>6</sup>次節で説明する方法で計算すると集光後のビームウェスト半径は 417  $\mu\text{m}$  になる。SLM の値については計算なのか実測に基づくものなのかよく分からない。

## 4 LDの空間ビームプロファイル測定

目標するポンプ光プロファイルのデザインが決定したので、実際に使用するポンプLDの空間プロファイル特性を調査する必要がある。どこまでファイバー出射光を絞り込めるのかと実際のビーム伝播がどのような計算に従うのかを知るために、LDの空間モードの測定をした<sup>7</sup>。また、測定は下図の3つの状況で行った。

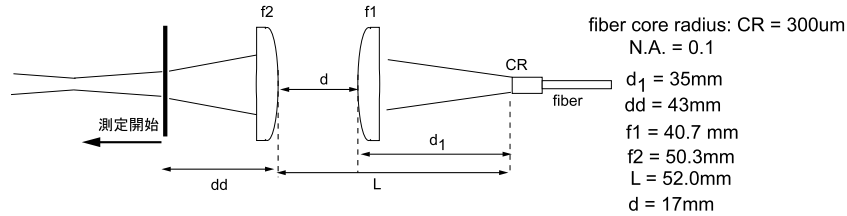


図 1: Case 1

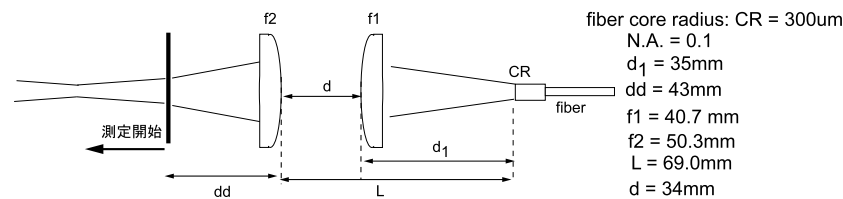


図 2: Case 2

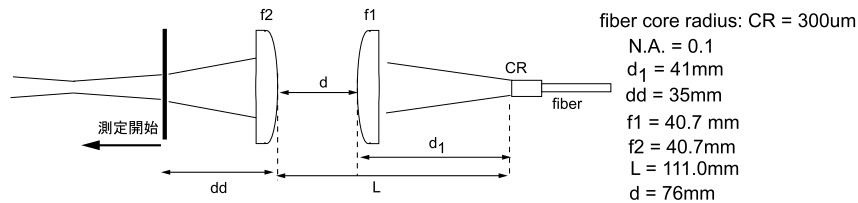


図 3: Case 3

得られた結果は表 1 のようである。

ここで、ファイバー出射後の空間ビームプロファイルは

$$W_p(z) = W_{po} \sqrt{1 + \left( \frac{\lambda M^2}{\pi n W_{po}^2} \right)^2 (z - z_0)^2} \quad (6)$$

で計算した<sup>8</sup>。また、計算はファイバー出射光の  $M^2$  は

$$M^2 = \frac{\pi W_f N.A. f}{\lambda} \quad (7)$$

<sup>7</sup>実験風景に関して <http://t-munu.phys.s.u-tokyo.ac.jp/arai/jgra/rc/recom2/0001J.html> を参照せよ。

<sup>8</sup>SLM p4 eq.(2)

	Beam waist position mm	Beam radius um
Case1		
実測	61 mm	470 um
計算値	73.4 mm	721 um
Case2		
実測	60 mm	458 um
計算値	58.5 mm	550 um
Case3		
実測	40 mm	302 um
計算値	37 mm	315.9 um

表 1: LD 空間ビームプロファイル測定の結果とその計算値

で表されるので<sup>9</sup>、

$$M^2 = 117 \quad (8)$$

となる。式 6 は、 $\lambda M^2 = \Lambda$  と見なせば、これは波長が  $\Lambda$  のレーザー光にガウシアンビームの空間プロファイルを表すから、表 1 の計算値はこれを利用して得た。

Case 1 を除くと実測と計算とはビーム径が 5%、スポット位置が 17% 以内で一致している。これから、ファイバー LD 波長をそのビームの  $M^2$  倍することで、大体ビームを追跡できると考えられる。また、Case 3 から分かるように、ビーム径は  $300 \mu\text{m}$  程度までは絞り込めることが分かった。これは目標としているビーム径を満たせる。

## 5 ポンプ光学系の設計 1

実際のポンプ光学系を設計する際には、Case 3 を若干変更した状態を再現することにした。その状態とは、下図のようなものである。

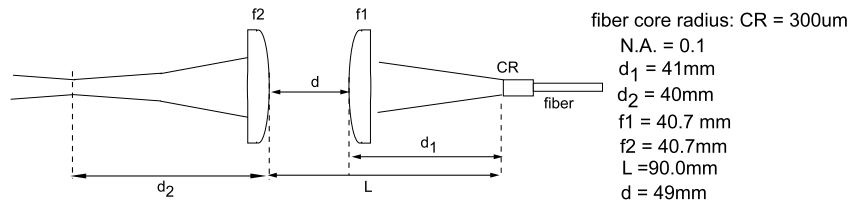


図 4: デザインされたポンプ光学系

Case 3 の測定時の 2 枚のモードマッチングレンズ間隔は 76 mm であったが、この設計では 49 mm とした。これは、集光されたスポット径をあまり変化させずに、実際に 10 W レーザーに組み込むことができる。(実際に許されているスペースの問題。) また、このときのビーム径とスポット位置は、Case 3 の計算値から 1% 程度ずれると計算される。

<sup>9</sup>SLM p5 eq.(3)

以下に、このときの各点でのビーム径とその位置を示す。これから分かるように、各光学素子上でビームはそれらを安全に透過できる。

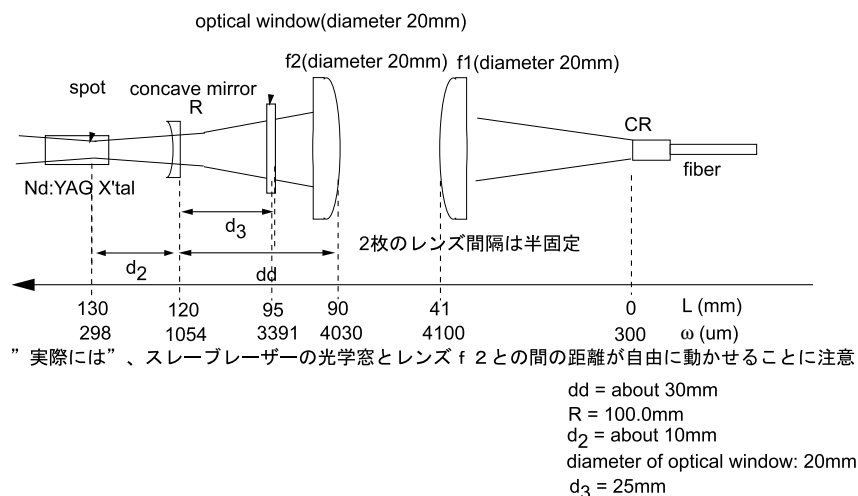


図 5: 設計 1 の各点でのビーム径

ポンプ光学系設計 1 で必要なもののリスト

品名	個数	状況
レンズ (f=40.7 mm)	4	納品済み (ただし 1 つは現在使用しているのを使用する。)
V-グループ (ストローク 90 mm)	2	納品済み
レンズホルダー (lens1 用)	2	納品済み
レンズホルダー (lens2 用)	2	納品済み
レンズホルダー (lens1 用)	2	納品済み
レンズホルダー (lens2 用)	2	納品済み

表 2: ポンプ光学系設計 1 で必要なもの

ポンプ光学系設計 1 のための手順

手順としては、(1) 現状の 10 W レーザー出射パワー vs LD 電流のデータ取得。(2) ファイバーをポンプ光学系から、また LD 本体を温調装置から取りはずす。(3) 現在使用中のポンプ光学系を調整用 XYZ ステージから取り外す。(4) 取り外された 1 つの焦点距離 40 mm のレンズを取り外す。(このとき、一応レンズ位置を V-グループ上にマーキングしておくともよいかもしいない。) もう一方は元の状態に復元する場合の基準になるのでいじらずに置いておくこと。(5) 新しいポンプ光学系を組み、取り外したものの代わりに組み込む。(6) ポンプ LD の発振閾値を少し超えたような LD 電流でレーザーを励起してポンプ光学系のチェックをする。また、このときパワーが足りなくて注入同期が掛からないようなら注入同期用 PD の前の ND フィルターを外して PD 入射パワーを調整すること。(7) レーザー出射光量が最大となるようにポンプ光軸を調整する。(8) LD 電流を少しづつ (0.5 A 程度づつ) 上げながら、パワーと出射ビームプロファイルを測定する。このとき場合に

よってはポンプ光軸を調整すること。特に LD 電流が高いときの出射ビームプロファイルは重要。(9) 納得いくパワーとプロファイルが得られればここで終わり。さもなければ、ポンプ用レンズ間隔を調整するなどして励起光のスポット径を変更しながら上の手順を繰り返す。

## 6 ポンプ光学系の設計 2

作業時間の短縮という観点から、現状のポンプ系のままで新しい LD をつけるということにも興味がある。現状のポンプ光学系でファイバー LD を付け替えた場合の空間ビームプロファイルを示す。もし、SLM に載っている値が間違いで実際のポンプ光半径が  $417\ \mu\text{m}$  であるとすると、この光学系で LD パワーを上げることでレーザー出力を補いながら熱複屈折の影響を減少させられるかもしれない。

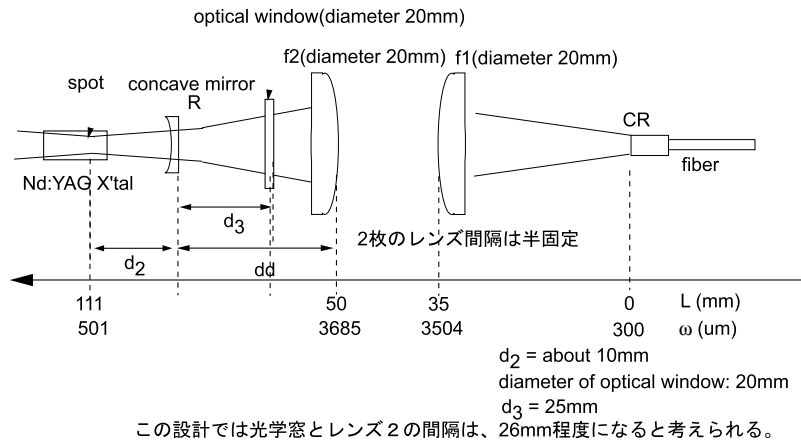


図 6: 設計 2 の各点でのビーム径

### ポンプ光学系設計 2 で必要なもののリスト

現状のポンプ光学系をそのまま利用するので、特になし。

### ポンプ光学系設計 2 のための手順

基本的には、現在使用中の LD のファイバーをポンプ光学系のファイバーチャックから取り外し、新しいものに交換するだけである。ただし、変更前の出射パワー vs LD 電流の関係は測定しておく問題が生じた場合に便利である。

## 7 まとめ

10 W レーザーのポンプ用 LD を新しいものに交換をするためのポンプ光学系デザインについて述べてきた。デザインは 2 通り述べた。1 つは、SLM に記載されているスレーブ共振器内のレーザー結晶上でのポンプ光半径  $300\ \mu\text{m}$  を信用した場合に、それに準ずるようなポンプ光半径を再現するデザインである。もう 1 つは、現状のポンプ光学系をそのまま利用する方法である。こちらは、SLM 中のポンプ光半径の値が間違いである場合に有効である可能性が高いと考えられる。どちらの光学系がより 10 W レーザーのスペックを引き出せるのかは、実際にやってみないとわからないほど我々はレーザーに関しての知識と情報がないのが現状であると考えられる。

## 8 課題

実は、ポンプ光学系の設計2とは、新しいLDのビームプロファイル測定の場合1に相当する。しかしながら、このときの測定結果は計算値から大きすぎたものとなった。(計算された集光後のビーム径より測定されたものは、1.5倍ほど大きかった。)他の2つの測定と比較してなぜこの測定だけ、計算値から大きすぎたのかは未だ不明である。従って、ポンプ光学系の設計2を実行する場合には、もう一度Case1の測定をするほうが安全である。

## 9 付録 ファイバーLDのN.A.

詳細については、別紙の“Fiber-coupled LD-array N.A. 測定”を参照せよ。ここでは、結果のみを述べるが、SDL3460-P6のN.A.は

$$N.A._x = 0.09603 \quad (9)$$

$$N.A._x = 0.09334 \quad (10)$$

である。これは、スペックの  $N.A. < 0.2$  よりもかなりよい値である。以後、N.A.の値は、計算の簡単化のために0.1と近似する<sup>10</sup>。

LDパワー特性とLD発振周波数-温度特性については別紙を参照。

---

<sup>10</sup>これは広がり角にして約11度である。

# ファイバーLD測定

平成10年10月9日

## 1 スペック

### 1.1 LDスペック

俗称	古いの	新しいの
型番	3450-P6	3460-P6
しきい値	6.45 A	10.10 A
slop eff.	0.73 W/A	0.82 W/A
V @5.0A	1.6 V	1.7 V
I @12W	22.9 A	なし
I @16W	なし	29.8 A
V @12W	1.91 V	なし
V @16W	なし	1.95 V
NA	0.2	0.37
出射角 $\theta_{max}$	11.5 deg.	21.7 deg.
ファイバー半径	250 $\mu m$	300 $\mu m$

### 1.2 LDドライバースペック

型番	NT-30AL
LD 駆動電圧 (max)	5 V
LD 駆動電流 (max)	30 A

## 2 問題点

- 現在のLDドライバーで新しいLDを駆動できるか？現在のLDでは20A時の電圧は4.3Vである。
- 現在ファイバー出射端から最初のレンズまでの距離は約40mmである。また、レンズの直径は約20mmである。新しいLDはそのファイバー径とNAからレンズ位置でビーム半径が15.9mmになる。ちなみに現在使用中のLDはレンズ位置でのビーム半径は8.13mmである。
- LD温調が飽和しないか？



### 3 測定課題

- Power-Current 特性 温度設定を変えて3箇所とる。
- 温度-波長特性 LD 電流一定で温調を変えて発振中心波長測定。⇒808[nm]になるのは何度  
のときか？
- Power-波長特性 温度一定で測定。
- LD ドライバーの様子と温調装置の様子。

### 4 結果

- 現在の LD ドライバーの電流、電圧で新しい LD を駆動可能である。
- LD はほぼスペックどりの特性であった。
- LD 温調装置は LD の温度が 12 度までは駆動できた。<sup>1</sup>

### 5 今後の課題

- 現状より LD を冷やす場合には結露対策をしっかりと行う必要がある。<sup>2</sup>
- SN AL955 は温調 12 度までで発振(中心)周波数 808[nm] にならなかった。
- 新しい LD は NA が大きいのでやはり現状のポンプ光集光用レンズ系では収束させることは不可能である。レンズ系の計算をやり直して早々にレンズ、場合によってはそのホルダー部分を用意しておく必要がある。

### 6 データ

---

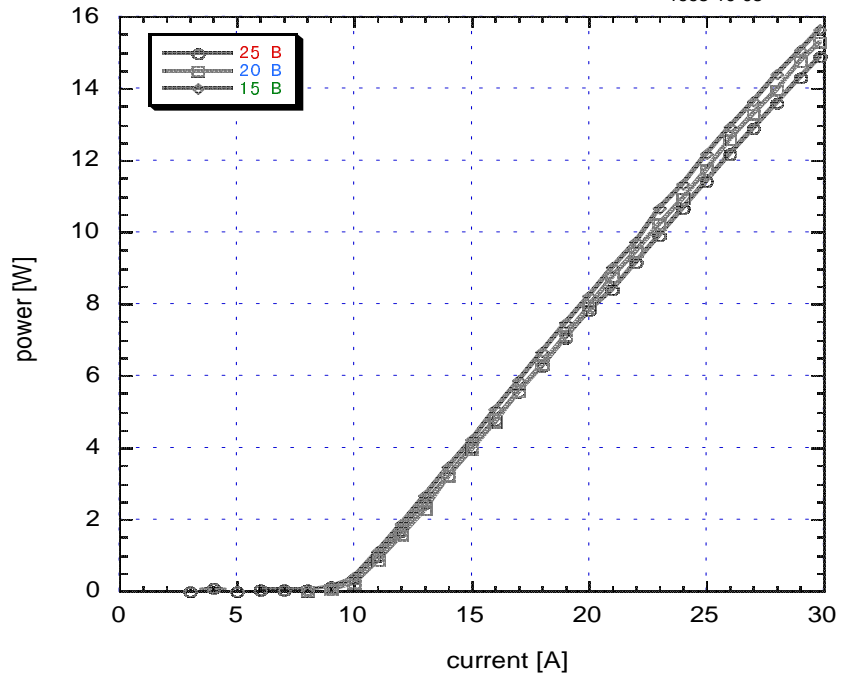
<sup>1</sup> 2つの新しい LD のうち一方(SN AL432)は 12 度までで発振周波数が 808[nm] になった。しかし、もう一方(SN AL955)は 12 度までに発振周波数が 808[nm] にならなかった。

<sup>2</sup> 怠るとからり怖いことになりそう。

# power-current measurement

AL955

1998-10-08



AL 432

1998-10-08

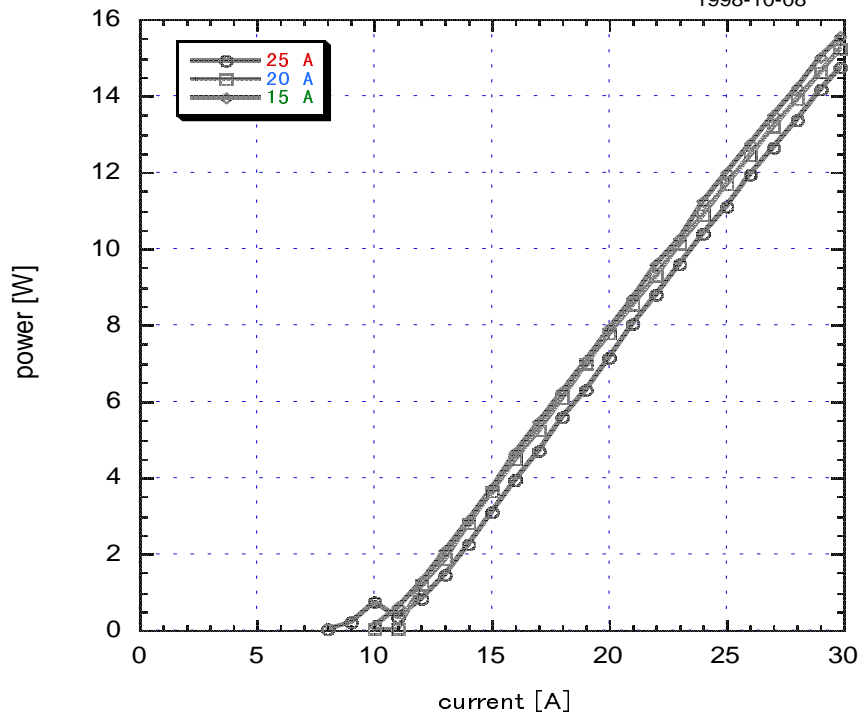


図 1: LDドライバーの電流-レーザーパワーの関係

# AL432

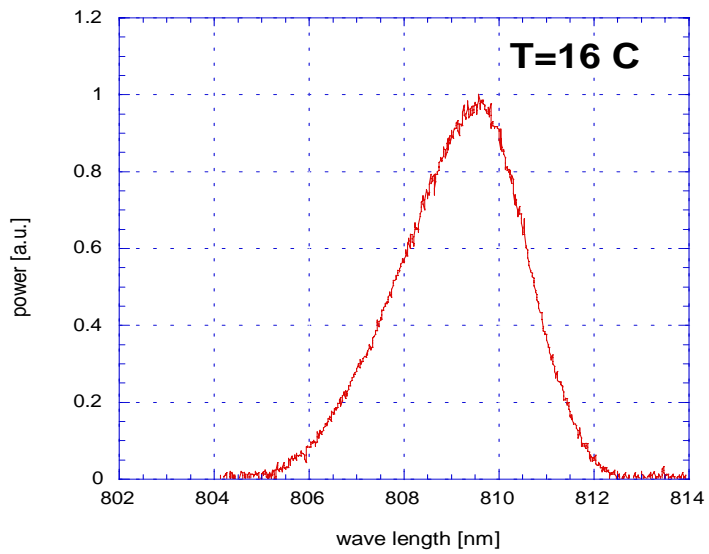
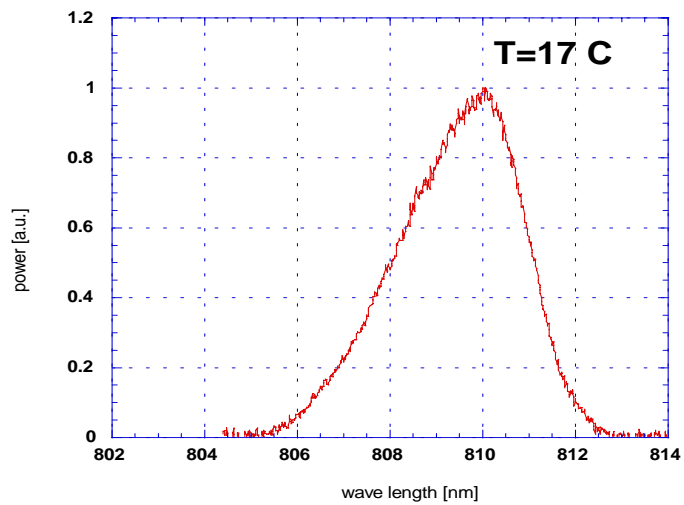
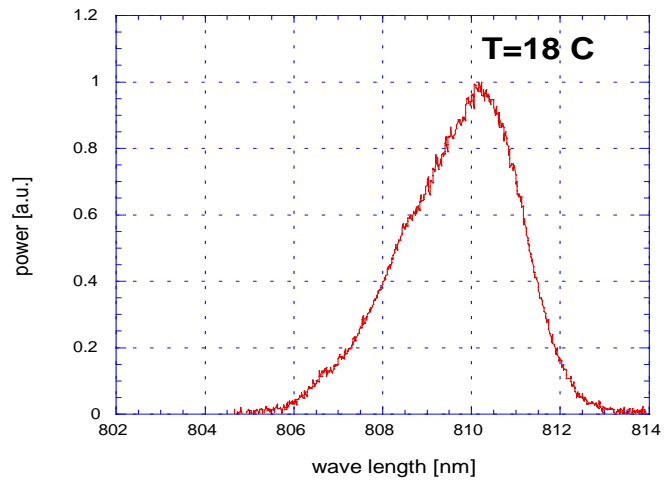


図 2: SN AL432 のスペクトルの温度依存性 1

# AL432

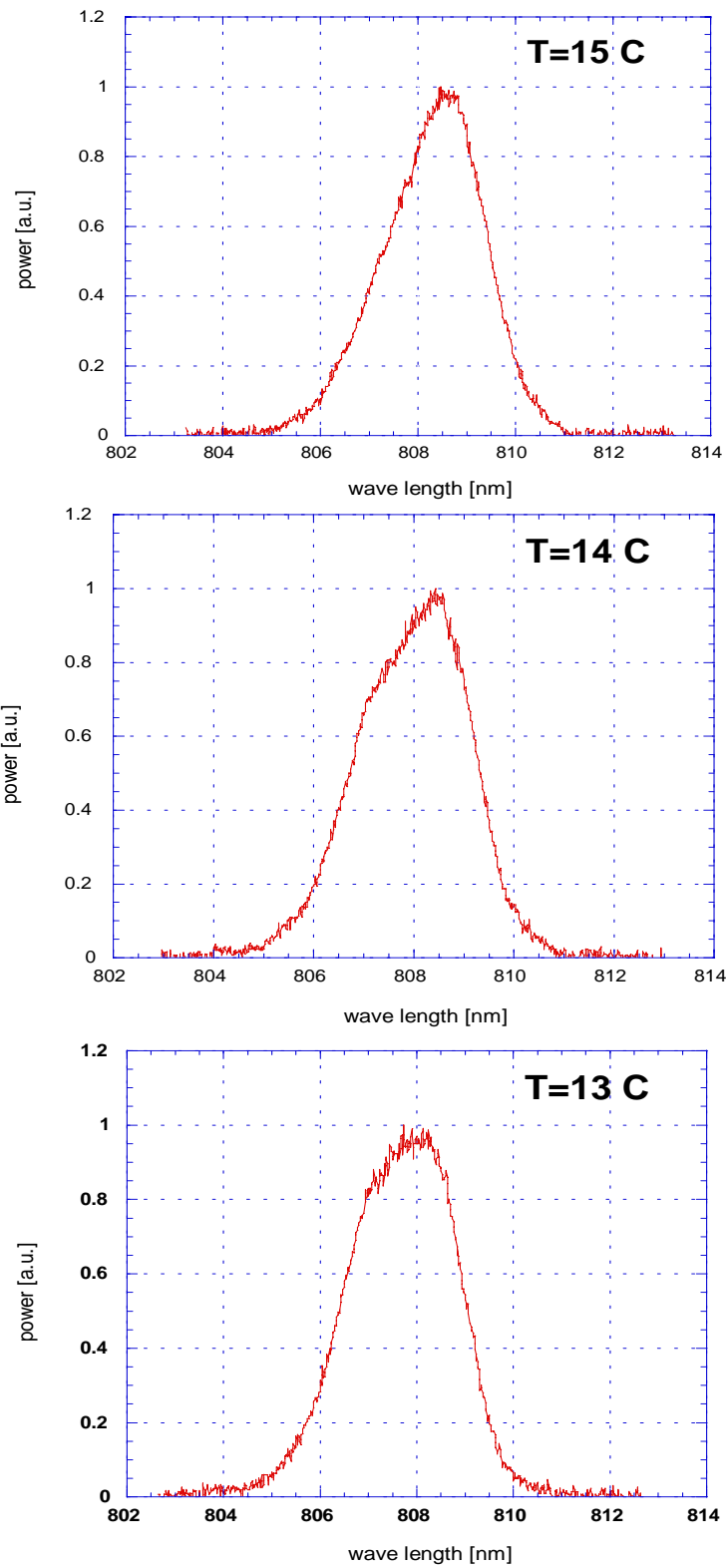


図 3: SN AL432 のスペクトルの温度依存性 2

# AL432

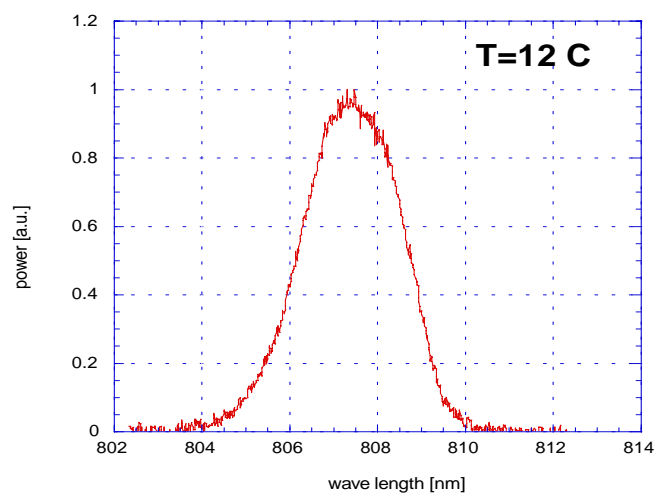


図 4: SN AL432 のスペクトルの温度依存性 3

# AL955

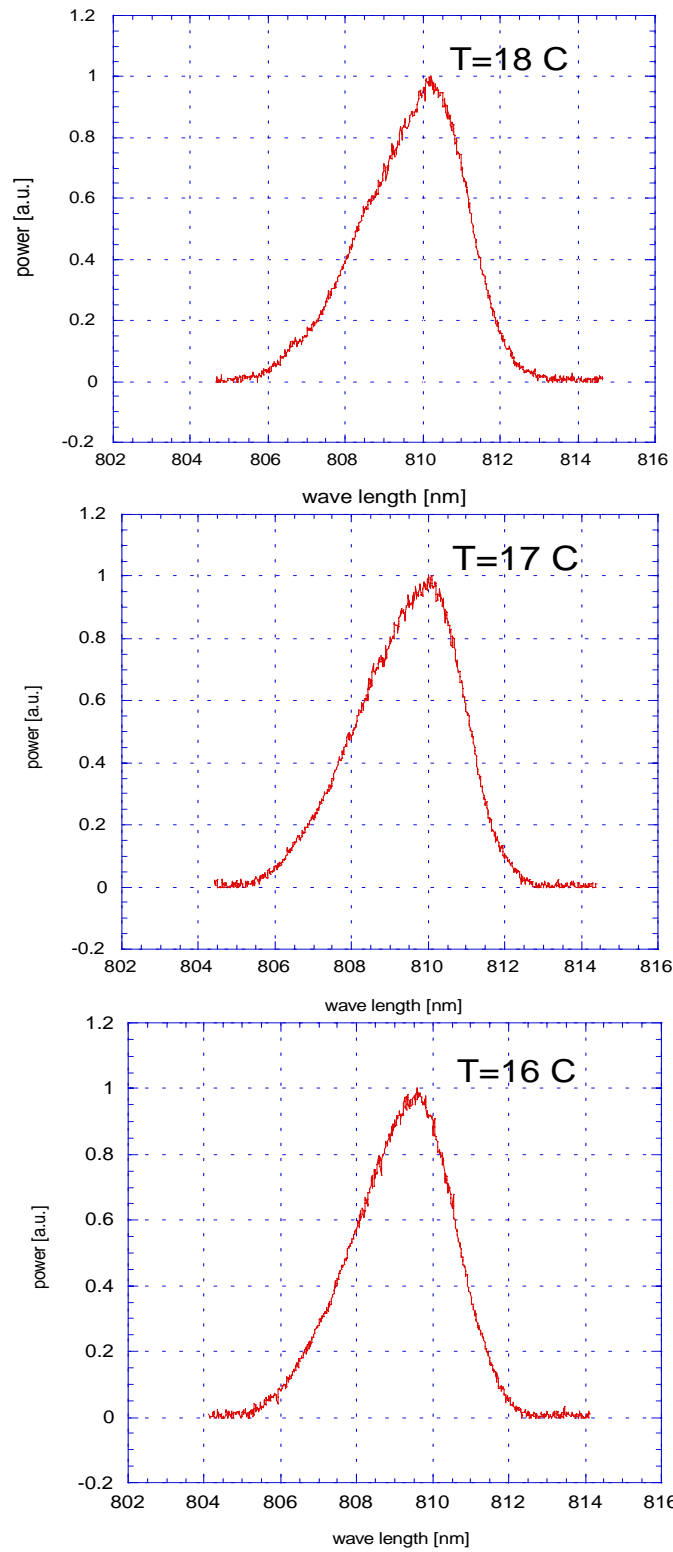


図 5: SN AL955 のスペクトルの温度依存性 1

# AL955

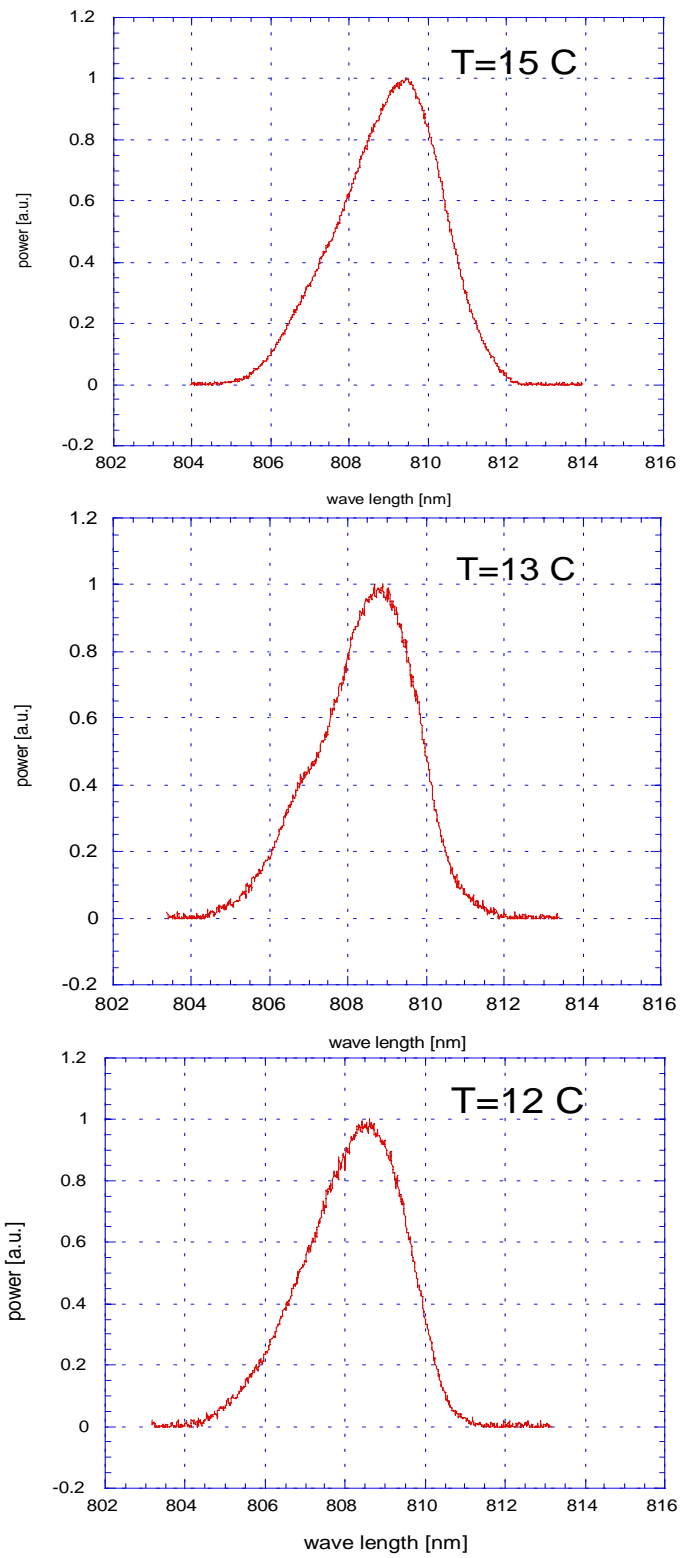


図 6: SN AL955 のスペクトルの温度依存性 2

# Fiber-coupled LD-array の N.A. 測定

平成 11 年 5 月 8 日

## 1 測定方法

測定方法は図 1 のようである。このときの LD 電流は 14[A] で、出射光量は 3[W] である。ファイバーからの出射ビームをスクリーンに投影し、その投影像を背面から CCD カメラを用いて PC に取り込むことで測定した。また校正値に関してはスクリーン上の実寸を用いて得た。

得られたデータの光強度がピーク値の  $\frac{1}{e^2}$  になる半径を有効ビーム半径と定義した。<sup>1</sup>

## 2 測定結果

測定結果を図 2 に示す。

図 2 から水平方向 (x 軸)、鉛直方向 (y 軸) の距離に関するビーム径の方程式が得られた。

$$r_x = 0.98089 + 0.096481 \times L_x \quad (1)$$

$$r_y = 1.0706 + 0.093752 \times L_y \quad (2)$$

ここで  $r_i$ 、 $L_i$  はそれぞれ i 軸のファイバー出射ビーム半径とファイバー出射端からの距離である。これから得られたビーム広がり角はそれぞれ

$$\theta_{cx} = 11.0218 [deg] \quad (3)$$

$$\theta_{cy} = 10.7119 [deg] \quad (4)$$

となる。これはカタログにある 24 度以内というデータよりかなり小さな値である。

## 3 結果

SDL3460-P6 の N.A. を測定した。ファイバー出射ビームの広がり角は x 軸、y 軸それぞれ 11.0218[deg]、10.07119[deg] であった。これはカタログ値の半分以下の値である。またこれに対応する出射ビームの N.A. は

$$N.A._x = 0.09603 \quad (5)$$

---

<sup>1</sup>強度分布の最大値を  $I_0$  としたとき、強度が  $I_0 e^{-2}$  となる 2 点を求め、それをビーム直径と定義した。



# Experimental setup

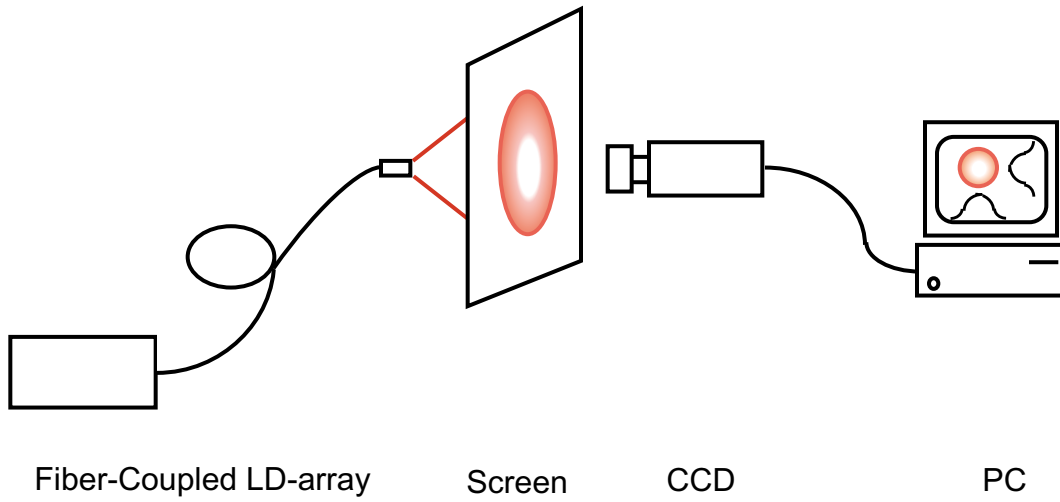


図 1: 実験配置図

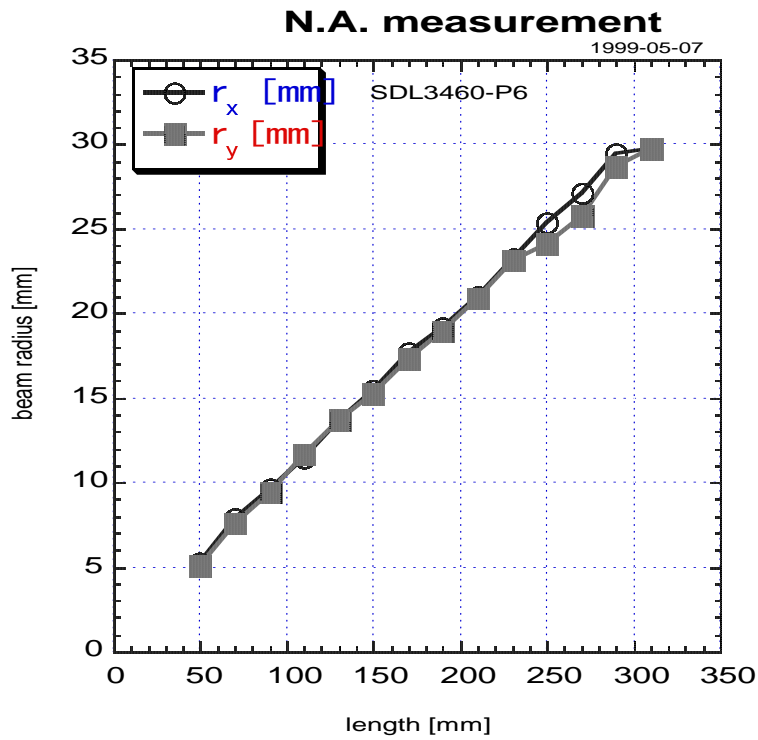


図 2: 出射ビーム広がり測定結果

$$N.A._y = 0.09334 \quad (6)$$

である。この結果より注入同期レーザーのポンプ光学系を大きな修正なしに使用できるのではないかと考えられる。

## 4 付録

参考のためにファイバー出射端から 50mm と 290mm の位置で測定したビーム強度分布を付ける。

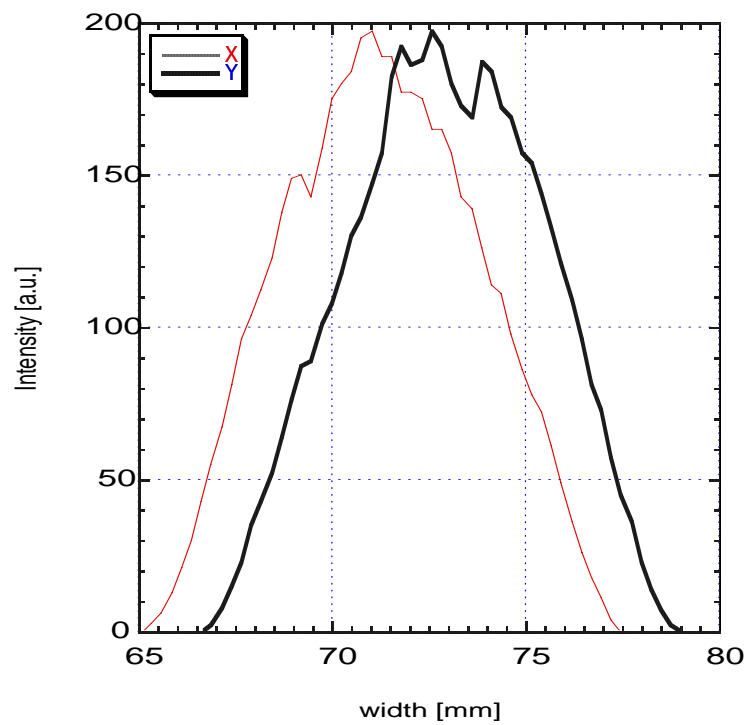


図 3: faber 出射端から距離 50mm のビーム強度分布

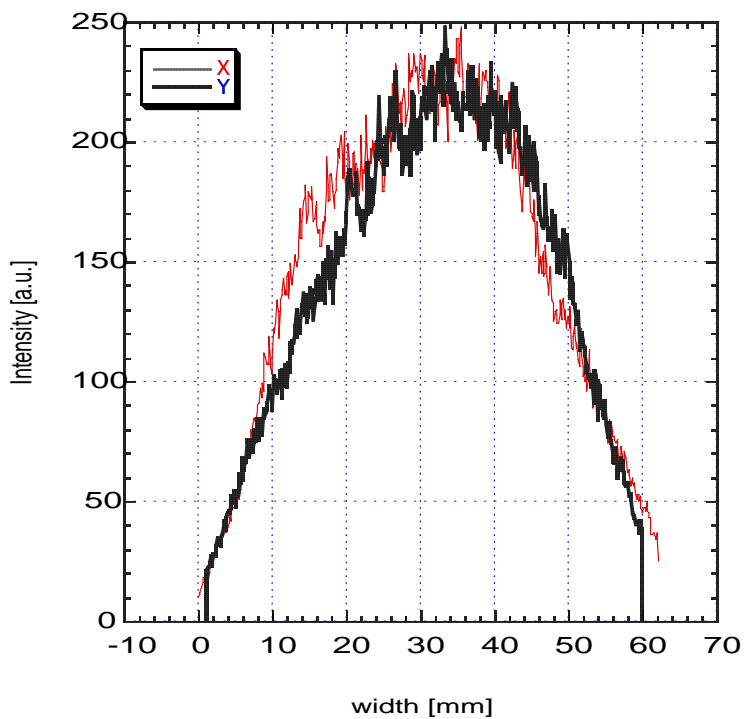


図 4: faber 出射端から距離 290mm のビーム強度分布

# SDL-3460-P6

S E R I E S

SDL-3460-P6

Package Available: **P6**



## SDL-3460-P6

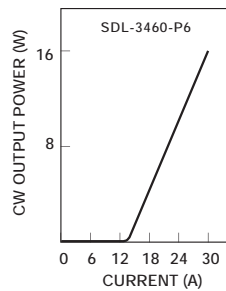
Laser Characteristics	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
CW Output Power	$P_o$	16		17	W
Center Wavelength	$\lambda_c$	800		808	( $\pm 5$ ) nm
Spectral Width	$\Delta\lambda$		4		nm
Slope Efficiency	$\eta_D = P_o / (I_{op} - I_{th})$		0.50		W/A
Conversion Efficiency	$\eta = P_o / (I_{op} V_{op})$		23		%
Beam Divergence	$\theta$		$\leq 24$		deg. $1/e^2$
Threshold Current	$I_{th}$		14		A
Operating Current	$I_{op}$		32		A
Operating Voltage	$V_{op}$		2.0		V
Series Resistance	$R_s$		0.01		$\Omega$
Thermal Resistance	$R_{th}$		0.8		$^{\circ}C/W$
Recommended Case Temp.	$T_c$	18		30	$^{\circ}C$
<b>Fiber Characteristics</b>					
Fiber Core Diameter	$W_c$		600		$\mu m$
Fiber Numerical Aperture	-		0.37		NA
Fiber Cladding	-		630		$\mu m$
Fiber Sheath	-		3000		$\mu m$
<b>Absolute Maximum Ratings</b>					
Reverse Voltage	$V_{rl}$			3	V
Case Operating Temp.	$T_{op}$	0		35	$^{\circ}C$
Storage Temp. Range	$T_{stg}$	-55		80	$^{\circ}C$

### Notes

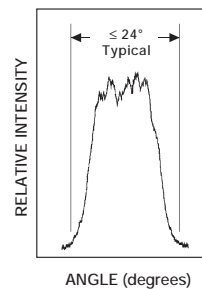
- All values at 25°C.
- Other Features Include:
  - Temperature coefficient of wavelength is approximately 0.27 to 0.3 nm/°C.
  - Temperature coefficient of threshold current can be modeled as:  

$$I_{TH2} = I_{TH1} \exp [(T_2 - T_1)/T_0]$$
 where  $T_0$  is a device constant of about 120°K.
  - Temperature coefficient of operating current is approximately 0.5% to 0.7% per °C.
- Forward Voltage is typically:  $V_f = 1.5 V + I_{op} \times R_s$
- P6 package diodes terminate in a male SMA 905 Series optical connector at the end of a 1 meter multimode fiber.
- A dry N2 environment should be provided by the user when storing or operating at temperatures below ambient dew point.
- Care should be taken to avoid light reflection back into the multimode fiber core.
- P6 power is measured into 0.2 NA.

LIGHT vs. CURRENT CHARACTERISTICS



FAR FIELD PATTERN FOR P6 LASERS



Package Available: **P6**



### SDL-6460-P6

Laser Characteristics	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
CW Output Power	$P_o$	16		17	W
Center Wavelength	$\lambda_c$	900		930	(±5) nm
Spectral Width	$\Delta\lambda$		4.5		nm
Slope Efficiency	$\eta_D = P_o / (I_{op} - I_{th})$		0.50		W/A
Conversion Efficiency	$\eta = P_o / (I_{op} V_{op})$		23		%
FWHM Beam Divergence	$\theta$		≤ 24		degrees
Threshold Current	$I_{th}$		6		A
Operating Current	$I_{op}$		28		A
Operating Voltage	$V_{op}$		2.0		V
Series Resistance	$R_s$		0.01		$\Omega$
Thermal Resistance	$R_{th}$		0.8		$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Recommended Case Temp.	$T_c$	18		30	$^{\circ}\text{C}$

### Fiber Characteristics

Fiber Core Diameter	$W_c$		600		$\mu\text{m}$
Fiber Numerical Aperture	-		0.37		NA
Fiber Cladding	-		630		$\mu\text{m}$
Fiber Sheath	-		3000		$\mu\text{m}$

### Absolute Maximum Ratings

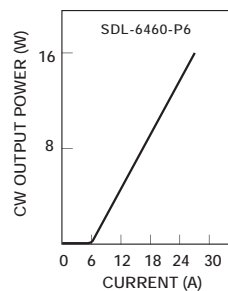
Reverse Voltage	$V_{rl}$			3	V
Case Operating Temp.	$T_{op}$	0		35	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temp. Range	$T_{stg}$	-55		80	$^{\circ}\text{C}$

### Notes

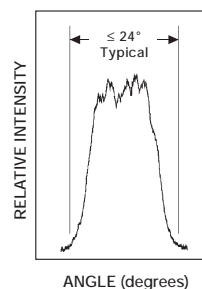
- All values at 25°C.
- Other Features Include:
  - Temperature coefficient of wavelength is approximately 0.27 to 0.3 nm/°C.
  - Temperature coefficient of threshold current can be modeled as:  

$$I_{TH2} = I_{TH1} \exp [(T_2 - T_1)/T_0]$$
 where  $T_0$  is a device constant of about 120°K.
  - Temperature coefficient of operating current is approximately 0.5% to 0.7% per °C.
- Forward Voltage is typically:  $V_f = 1.5 \text{ V} + I_{op} \times R_s$
- P6 package diodes terminate in a male SMA 905 Series optical connector at the end of a 1 meter multimode fiber.
- A dry N2 environment should be provided by the user when storing or operating at temperatures below ambient dew point.
- Care should be taken to avoid light reflection back into the multimode fiber core.
- P6 power is measured into 0.2 NA.

LIGHT vs. CURRENT CHARACTERISTICS



FAR FIELD PATTERN FOR P6 LASERS



Package Available: P5



### SDL-7470-P5

Laser Characteristics	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
CW Output Power	$P_o$	3		3.3	W
Center Wavelength	$\lambda_c$	670		690	( $\pm 5$ ) nm
Spectral Width	$\Delta\lambda$		3		nm
Slope Efficiency	$\eta_D = P_o / (I_{op} - I_{th})$		0.50		W/A
Conversion Efficiency	$\eta = P_o / (I_{op} V_{op})$		12		%
FWHM Beam Divergence	$\theta$		$\leq 50$		degrees
Threshold Current	$I_{th}$		5		A
Operating Current	$I_{op}$		12		A
Operating Voltage	$V_{op}$		2.0		V
Series Resistance	$R_s$		0.01		$\Omega$
Thermal Resistance	$R_{th}$		0.8		$^{\circ}C/W$
Recommended Case Temp.	$T_c$	18		30	$^{\circ}C$

Fiber Characteristics			
Fiber Core Diameter	$W_c$	400	$\mu m$
Fiber Numerical Aperture	-	0.4	NA
Fiber Cladding	-	430	$\mu m$
Fiber Sheath	-	730	$\mu m$

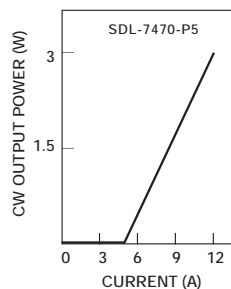
Absolute Maximum Ratings			
Reverse Voltage	$V_{rl}$		3 V
Case Operating Temp.	$T_{op}$	0	35 $^{\circ}C$
Storage Temp. Range	$T_{stg}$	-55	80 $^{\circ}C$

### Notes

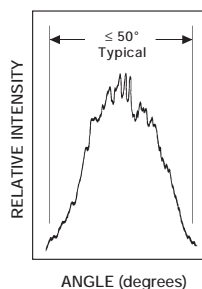
- All values at 25°C.
- Other Features Include:
  - Temperature coefficient of wavelength is approximately 0.27 to 0.3 nm/°C.
  - Temperature coefficient of threshold current can be modeled as:  

$$I_{TH2} = I_{TH1} \exp [(T_2 - T_1)/T_0]$$
 where  $T_0$  is a device constant of about 90°K.
  - Temperature coefficient of operating current is approximately 0.5% to 0.7% per °C.
- Forward Voltage is typically:  $V_f = 1.5 V + I_{op} \times R_s$
- P5 package diodes terminate in a male SMA 905 Series optical connector at the end of a 1 meter multimode fiber.
- A dry N2 environment should be provided by the user when storing or operating at temperatures below ambient dew point.
- Care should be taken to avoid light reflection back into the multimode fiber core.

LIGHT vs. CURRENT CHARACTERISTICS



FAR FIELD PATTERN FOR P5 LASERS



# Package Specifications

Dimensions in inches (mm) except where indicated

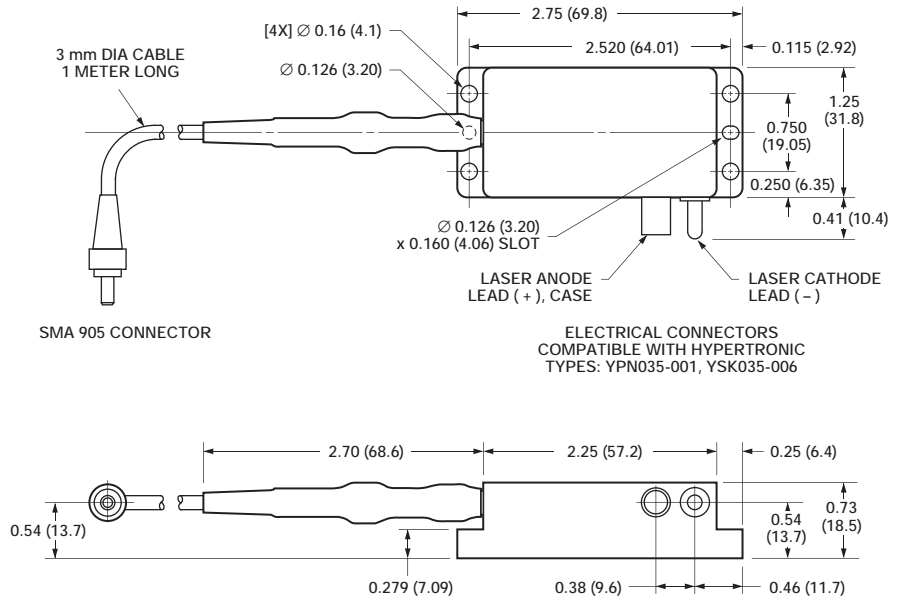
## Standard Tolerances

inches: x.xx = ±0.02  
x.xxx = ±0.010

mm: x.x = ±0.5  
x.xx = ±0.25

## P5 and P6 Packages

### Fiber-Coupled Linear Array Package



# SDL-34/64/7400

P 5 / P 6 S E R I E S

## User Safety

### Safety and Operating Considerations

The laser light emitted from these laser diodes is visible or invisible and may be harmful to the human eye. Avoid looking directly into the fiber or fiber coupler when the device is in operation.

**CAUTION: THE USE OF OPTICAL INSTRUMENTS WITH THIS PRODUCT WILL INCREASE EYE HAZARD.**

Operating the laser diode outside of its maximum ratings may cause device failure or a safety hazard. Power supplies used with the component must be employed such that the maximum peak optical power cannot be exceeded. CW laser diodes may be damaged by excessive drive current or switching transients. When using power supplies, the laser diode should be connected with the main power on and the output voltage at zero. The current should be increased slowly while monitoring the laser diode output power and the drive current.

Device degradation accelerates with increased temperature and therefore careful attention to minimize the case temperature is advised. For example, life expectancy will decrease by a factor of four if the case is operated at 50 °C rather than 30 °C.

A proper heat sink for the laser diode on a thermal radiator will greatly enhance laser life. Firmly mount the laser on a radiator having a thermal impedance of less than 0.5 °C/W for increased reliability.

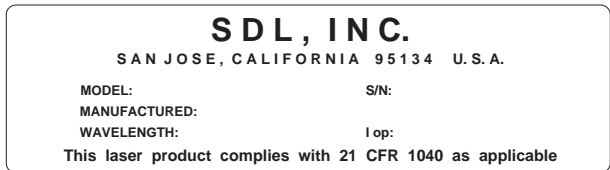
**ESD PROTECTION** — Electro-static discharge is the primary cause of unexpected laser diode failure. Take extreme precaution to prevent ESD. Use wrist straps, grounded work surfaces, and rigorous anti-static techniques when handling laser diodes.

This product is export controlled under COCOM. The ECCN is 6A05A; Harmonized Commodity is 8541.40.6050.

### 21 CFR 1040.10 Compliance

Because of the small size of these devices, each of the labels shown is attached to the individual shipping container. They are illustrated here to comply with 21 CFR 1040.10 as applicable under the radiations control for health and safety act of 1968.

#### SERIAL NUMBER IDENTIFICATION LABEL



#### OUTPUT POWER DANGER LABELS

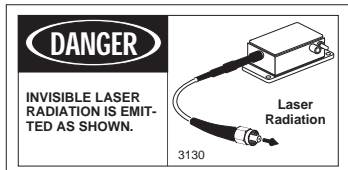


SDL-3460/6460-P6

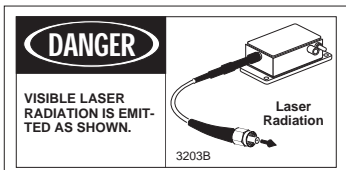


SDL-7470-P5

#### PACKAGE APERTURE LABELS



SDL-3400/6460 SERIES



SDL-7470-P5



SDL, Inc.  
80 Rose Orchard Way  
San Jose, CA 95134-1365  
TEL: 408-943-9411  
FAX: 408-943-1070

Information contained herein is deemed to be reliable and accurate. No responsibility is assumed for its use, nor for any infringements on the rights of others. SDL reserves the right to change the design, specifications, etc., of the product at any time without notice.



# 10W レーザー起動方法と注意点

Version 1.0

長野 重夫

平成 12 年 4 月 22 日

## 1 10W レーザーの使い方

原案はソニーレーザーマニュアルにある起動、終了方法である。またレーザーを使用する者はマニュアルをコピーして熟読しておくこと。(オリジナルを持っていかないように。)

### 1.1 起動方法

#### 1. NPRO 電源キー ON。

普段はスタンバイモードにしておき不用意に電源キーを切らないようにする。

#### 2. ドライエアーポンプ起動。

流量計を確認。LD の結露はショートによる LD の破壊を招くので露時や湿度の高い環境では常に湿度計をチェックすること。また湿度 70%以上あるときは湿度が下がるまでレーザーの使用を避けること。結露した場合は速やかに LD 電流を下げ、乾燥するまで待つこと。

#### 3. 循環冷却装置 ON。

→ 目標設定温度の確認。(14 度)

#### 4. LD 温度調節器 ON。(LD temp controller)

→ 目標設定温度の確認。(15.0 度)

→ 冷却循環水が作動していることを確認。(熱暴走に注意!)

循環水が減って来たり、ホース内が汚れて来たりすると、循環冷却装置の電源を入れても水が流れていないこともあるので、たまには循環水用ホースを触って水流による振動を確認すること。

循環冷却水が減ったときは純水を補給すること。長期間の水道水の使用はチラー内に藻を発生させるので避けること。

#### 5. Nd:YAG 結晶温度調節器 ON。

→ 目標設定温度の確認(21 度)

#### 6. KENWOOD 電源 ON (VCM コントローラ起動)

2 台ある電源の右側の OUTPUT スイッチを押すと連動して 2 台同時に出力される。

→ 共振器内シャッター作動確認(シャッターの音を確認すること。)。スレーブ共振器内部のシャッターを開放せずにレーザーを励起させないようにすること。

→ LOCK スイッチ OFF、AUTO SERCH スイッチ ON

#### 7. ケーブルコネクション確認。

循環冷却装置・温度調節器が目標設定値に制御されていることを確認する。(LD 温度調節器は冷却方向の制御しかできないため、循環冷却装置の温度設定が低いと、目標設定温度以下の値を示すことが

あります。)

NPRO ケーブルのコネクション確認。

SDL3450 - P6 のコネクション確認。

8. オシロスコープ ON。

9. 励起開始前に安全シャッターがオープンするか確認する。

## 1.2 励起開始

1. NPRO STANDBY スイッチ ON。

→ 出力 550 mW から 600 mW を確認。

→ LOCK スイッチ OFF (VCM 掃引モード) で共振器の反射ディップを確認。(ディップが見えなかったらボードのリセットボタンを押すこと。)

2. LD 電源 (LASER DIODE POWER) キー ON。

→ 電流値 (IF-SET) が最小値 (反時計回り) になっていることを確認。

また START SWICH を一度 STOP に倒してから電源キーを ON すること。 IF-SET が 0.0 になっていることを確認する。(10.0 と間違えないように) IF-LIMIT = 21[A] になっているが 20[A] 以上流さないようにする。

3. 電源 SHORT トグルを START に ON。(一番左のスイッチ)

→ VF2.9V, IF0.0A であることを確認。

4. LD の温度調節がうまく制御されていることを確認しつつ、少し筒電流値をあげる。

→ LD しきい値は IF = 6 A 程度。(レーザー発振が始まる。これ以下では発光のみ)

→ スレーブ共振器自体のしきい値は IF8.5A 程度。(この値はアライメントによって多少前後する。)

5. 注入同期をかけるための LOCK スイッチを ON にする。

→ AUTO SEARCH OFF の場合、LD しきい値 (6 A) 前後で LOCK スイッチ ON。

→ 同期が成功しない場合、PD の入射光量の調節。

→ AUTO SEARCH ON の場合、LOCK スイッチ ON の状態で LD 電流値を 12A から 13A 程度まであげていく。

→ 同期が成功しない場合、VCM 制御基盤調整方法の項参照。

6. 電流値 20.0A で出力 9.5W から 10.0W 程度を確認。

## 1.3 終了方法

**突然に LD 電流を遮断することだけは避ける。**

1. LD 電源の電流値を静かに 0 A まで落とす。

2. LD 電源 SHORT トグルをストップする。

→ 電流値が 0 A であることを確認。

3. LD 電源キー OFF。

4. NPRO STANDBY スイッチ OFF。

→ この状態で初めて出力が 0 W になる。

5. 結晶温調、LD 温調、循環冷却装置を OFF。

6. ドライエアーポンプ OFF。

7. NPRO 電源キー OFF。(終夜通電の場合省略)

## 2 アライメント

### 2.1 ポンプ光アライメント

ポンプ光のアライメントは Nd:YAG 結晶の端面に対して、X、Y、Z の自由度がある。主に使用するのは X、Y 軸ステージである。調整は出射光量とレーザー出射ビームプロファイルを観察しながらパワー最大、出射モードが最も  $TEM_{00}$  モードに近くなるように行う。(スピリコンを起動させてモニターすること。)このときのコツは出射ビームプロファイルは熱レンズの影響を大きく受けているため、ゆっくりと動かすことである。またスピリコンでモニターしたときに最も  $TEM_{00}$  モードに近いときが出射光量最大ではないことが多い。

アライメント用 Z 軸ステージは大体調整が終わったときに最適化する感で行う。

### 2.2 マスターレーザー入射光アライメント

レーザーを使用していると段々と出力が低下してくる。この原因の一つにマスターレーザーの入射光のずれが考えられる。この調整方法は以下の通りである。

1. 現状の出射光量-LD 電流を測定しておくこと。
2. 初期状態のマスターレーザー光軸をアイリス等で確認しておくこと。
3. レーザー出射光の光軸をなるべく遠くでモニター(マーキング)しておくこと。
4. VCM コントローラを掃引モードにして共振器の反射ディップを確認する。
5. LD 電流をスレーブレーザーのしきい値程度まで流し、注入同期 LOCK SWICH を ON、AUTO SEARCH を OFF にして出射ビームプロファイルを確認する。
6. 共振器反射ディップと出射ビームプロファイルと出射光軸をモニターしながらマスターレーザー光をスレーブ共振器に導入し最適化する。  
このとき、スレーブレーザー光軸とマスターレーザー光軸とのずれはアライメントの有効な情報を含んでおり、ずれが生じている場合はスレーブレーザー光軸にマスターレーザー光軸を合わせるようにすること。
7. アライメントが済んだら出射光量-LD 電流を測定する。

### 2.3 循環冷却水の交換

半年に一度程度の割合で循環冷却水の交換を行うほうがよい。

1. チラーへの戻り口のホースを抜き、チラーを ON し、古い冷却水をすべて抜き取る。すべて抜ききいたらチラーを OFF する。
2. 新しい純水をチラー上部から注入口から入れる。
3. 純水を入れたらチラーを再び ON して、はずしてあるホースの口まで冷却水が回ってくるようにすること。(冷却水は勢いよく流れるので水浸しにならないように注意。)ホース内に大量の空気が混入していると冷却水が流れにくくなるので、この時点でなるべく空気抜きをしておくこと。
4. ホース口まで冷却水が回ってきたらチラーを OFF し、すばやくホースをチラーに接続する。
5. もう一度チラーを ON して水漏れがないか確認すること。

## 2.4 スレーブ共振器の乾燥空気の交換

スレーブ共振器はパージされており中は乾燥空気で満たされている。この乾燥空気は2ヶ月に一度程度の割合で交換を行うほうがよい。

1. 乾燥空気を用意する。(付属の空気ポンペを使用。)
2. スレーブ共振器上部にあるホースを取り外す。
3. 片側に乾燥空気ポンペを取り付け、ゆっくりと少量ずつ空気を流す。このとき、勢いよく流さないように注意すること。
4. 共振器中に新しい乾燥空気が満たされたらすばやくホースを取り付けること。

## 2.5 Faiber-coupled LD array の取り扱い

ポンプ用 LD の取り扱いについてはマニュアルおよびカタログを参照すること。主な注意点は以下の通りである。

1. LD は静電気によってすぐに破壊されるので電極は絶対に開放にしないこと。取り外すときはかならず電極をショートさせること。
2. ファイバーをホルダーから取り外す場合は端面を傷つけないように注意すること。傷ついた端面で LD を発振させると Optical feedback によって LD が破壊されます。
3. LD のオペレーション温度はマニュアルにあるように 18 度から 30 度です。LD 温調が熱暴走しないようにモニターすること。
4. ファイバーには余計な力が加わらないように取りまわし等に注意すること。

## 3 改良点

ソニーレーザーは注入同期を保つために Pound-Drever 法を用いて Phase lock をしているが、そのアクチュエータにはスレーブ共振器を構成する鏡に取り付けられた VCM を使用している。

この VCM の共振周波数は約 80 KHz である。レーザーの周波数安定化を行う際に広帯域制御をするとこの VCM の共振が制御を不安定にする。そのため、80 KHz のノッチフィルターを Phase lock loop に付け加えてこの共振を避けるように改良した。

VCM 制御用基盤上にある TP4 から TP5 の間に外付けのフィルターを入れた。

## A 諸特性