

# 波長可変パルスレーザーシステム 説明会

## システム概要

10Hzのフラッシュランプ励起YAGレーザーの3倍高調波(波長355nm)パルス光を非線形結晶により波長変換することで、222.5～1750nmの任意の波長のパルスレーザー光を出力できるシステム.

発振線幅：OP0基本波(可視域)では $0.075\text{cm}^{-1}$ 以下  
(例：波長500nmにおいて $0.001875\text{nm}$ )

パルス出力：数mJ/pulse～50mJ/pulse(波長に依存する)

パルス繰り返し：10Hz(固定)

外観

OP0制御パソコン

OP0部

FX-1

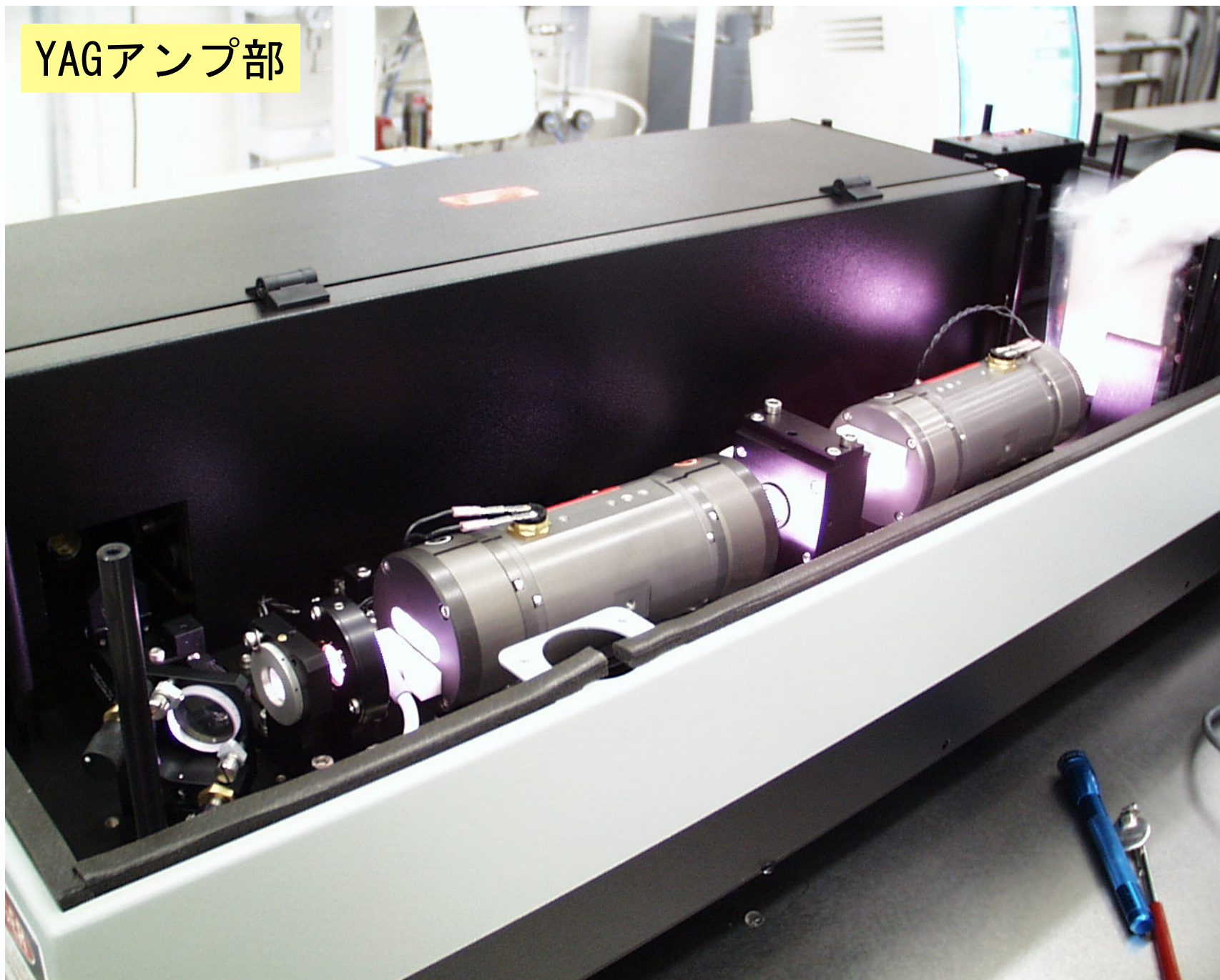
YAGレーザー

YAGレーザー  
電源ユニット

1999. 10. 30設置

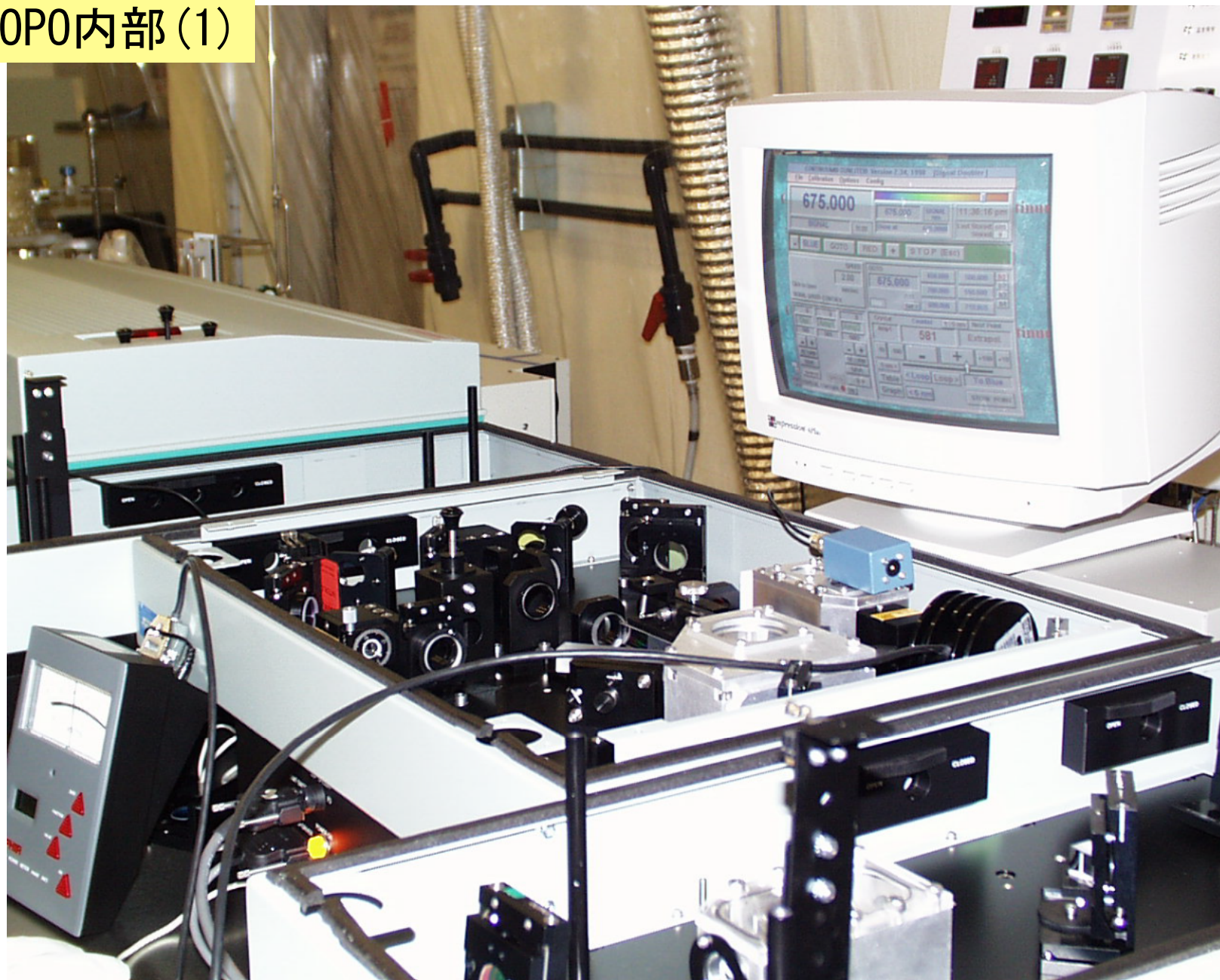


# YAGアンプ部



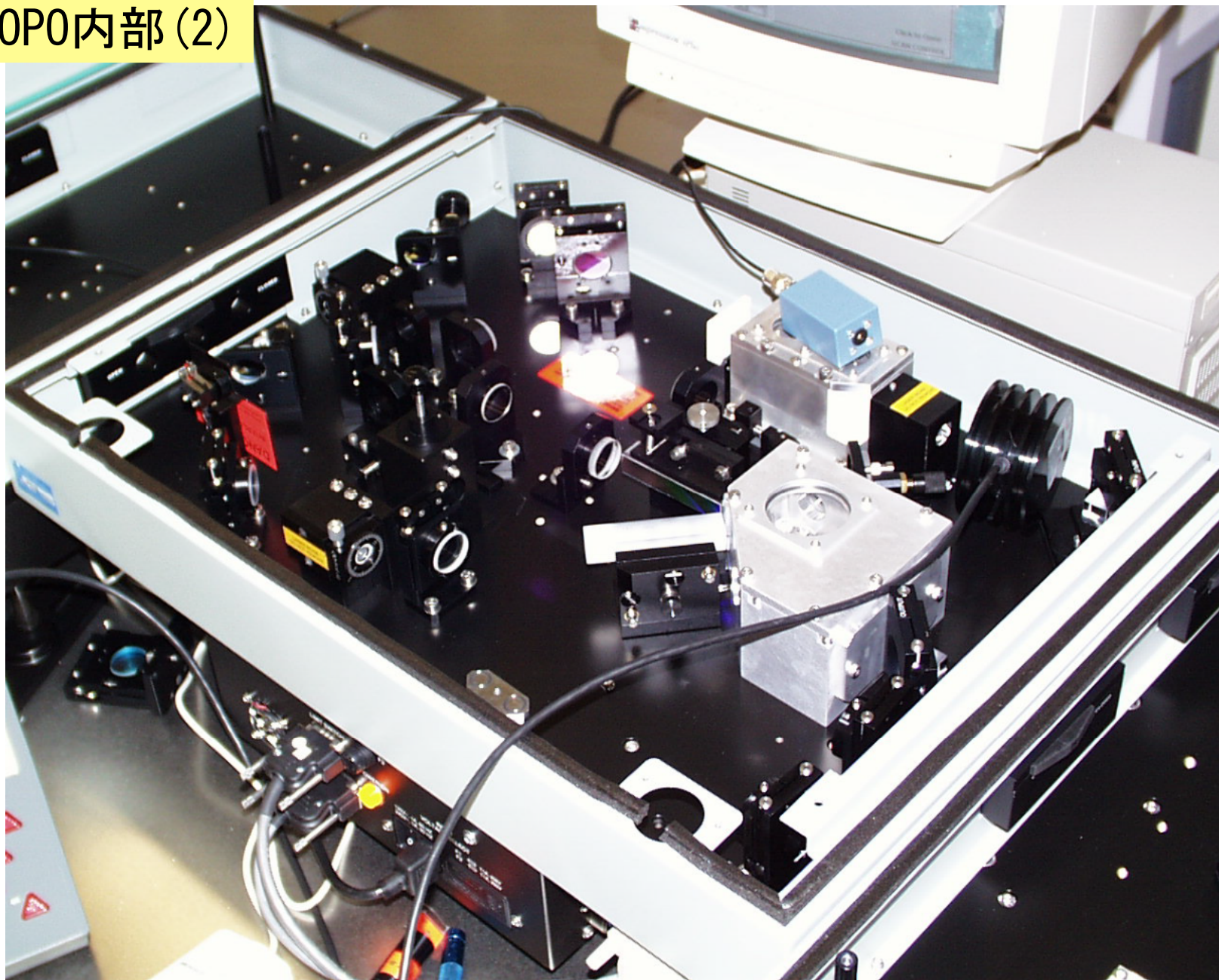


## OP0内部 (1)





## OP0内部 (2)



## YAGレーザー概要(1)

# Powerlite Precision 9000シリーズ Powerlite Plus Nd:YAGレーザー

Powerlite9000シリーズNd:YAGレーザーは共振器に6mmφのYAGロッドを使用することにより、インジェクションシーダーが十分にかかり、最良のビーム品質が得られるように設計してあります。さらに2つの増幅用ロッドの採用により、より高出力を可能にしました。

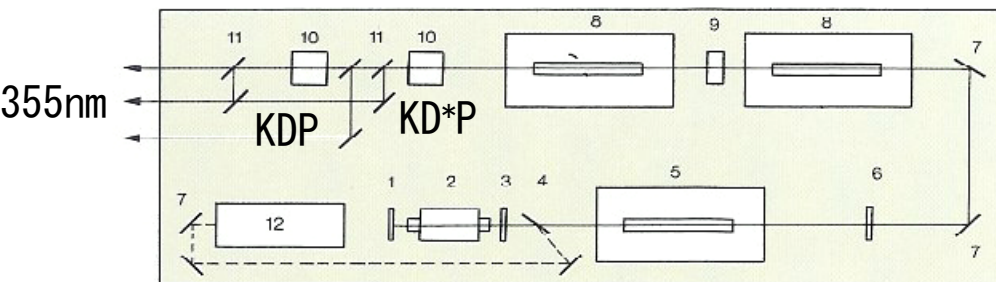
Precision シリーズは、ビームポインティングスタビリティを向上させました。(30μrads)



### ■特長/オプション

#### ●インジェクションシーダー搭載可能

- ロングパルス (>20nsec)、  
ショートパルス (2.5 nsec) オプション
- LNE (ライン幅狭帯域化エタロン)
- DPOダブルパルスオプション (20~200μsec)
- Mirage3000、800、(PL9010)、Mirage500、  
Sunlite (PL9010、9020) 励起



1. リアミラー
2. ボツケルセル
3. λ/4板
4. 誘電体偏光板
5. 発振器 ロッド
6. ガウシアン出力ミラー
7. 折り返しミラー
8. 増幅器ロッド
9. 複屈折コンペンセーター
10. 高調波発生器
11. ダイクロイック分離器
12. インジェクションシーダー  
(オプション)

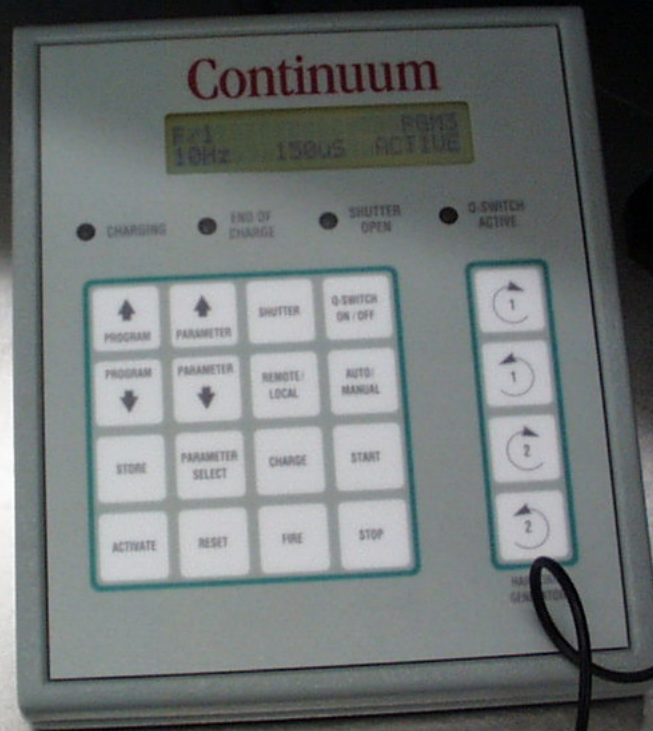


20°C冷却水



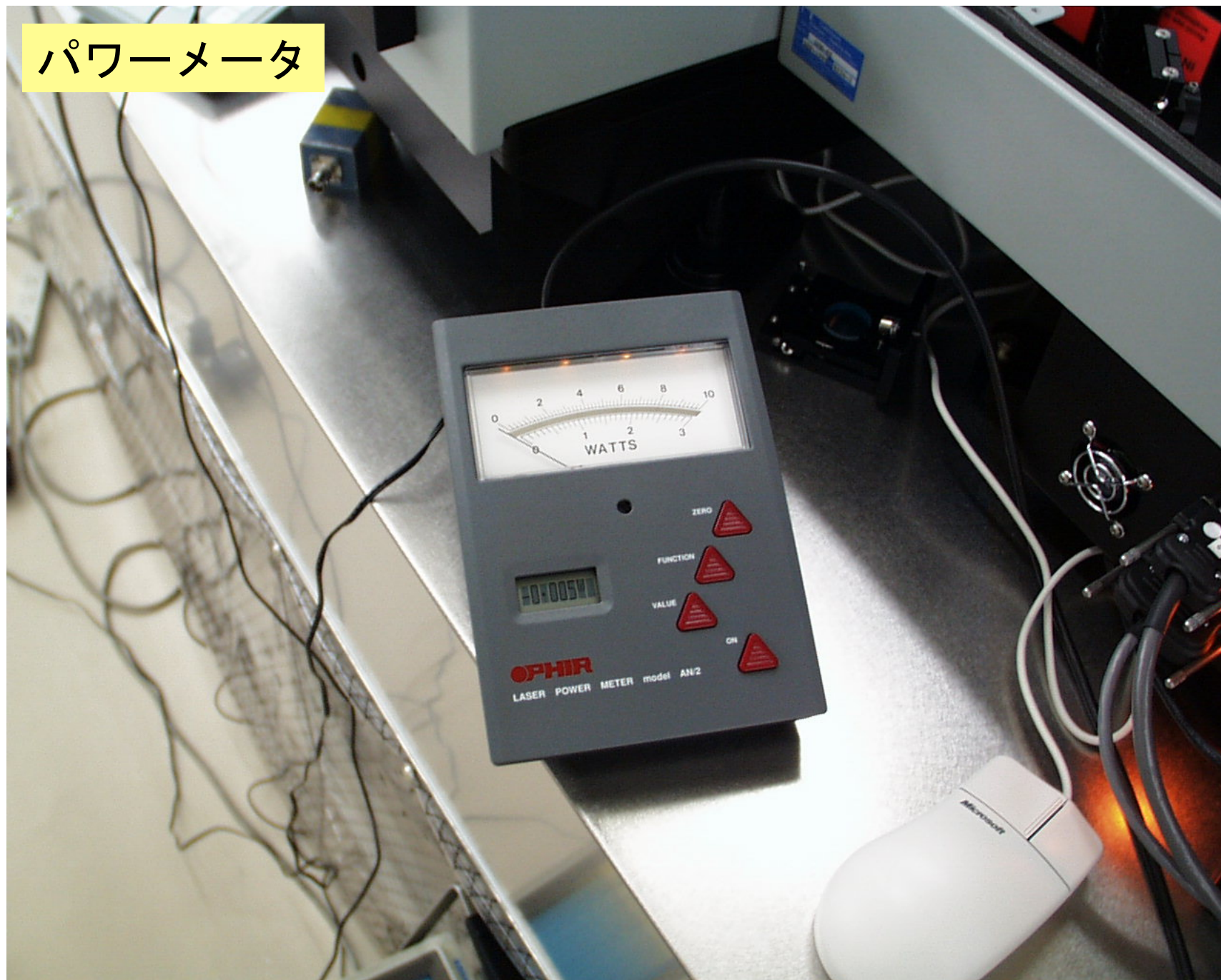


# YAGレーザーコントローラ





# パワーメータ



# YAGレーザー概要(2)

## ■ Powerlite Precision 9000 シリーズ仕様

		9010	9020	9030	9050	Plus
繰り返し (Hz)		10	20	30	50	10
出力 (mJ)	1064nm	2000	1800	1600	1200	3000
	532nm	1000	900	800	600	1500
	355nm	550	475	400	350	800
	<del>266nm</del>	<del>160</del>	<del>110</del>	<del>90</del>	<del>75</del>	<del>160</del>
パルス幅 <sup>1</sup> (ns)	1064nm	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9
	532nm	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8
	355nm	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7
	<del>266nm</del>	<del>3-6</del>	<del>3-6</del>	<del>3-6</del>	<del>3-6</del>	<del>3-6</del>
線幅 <sup>2</sup> (cm <sup>-1</sup> )	<del>標準</del>	<del>1.0</del>	1.0	1.0	1.0	1.0
	<del>LNE</del>	<del>0.2</del>	0.2	0.2	0.2	
インジェクションシーダー <sup>3</sup>		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
拡がり <sup>4</sup> (mrads)		0.45	0.45	0.50	0.50	0.45
ビームポインティング安定性 (μrads)		30	30	30	30	30
ジッター <sup>5</sup> (±ns)		0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
エネルギー安定性 <sup>6</sup> (±%)	1064nm	2.5	2.5	2.5	3.0	2.5
	532nm	3.5	3.5	3.5	4.5	3.5
	355nm	4.0	4.0	4.0	6.0	4.0
	<del>266nm</del>	<del>8.0</del>	8.0	9.0	9.0	8.0
パワードリフト <sup>7</sup> (±%)	1064nm	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	532nm	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	355nm	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
空間プロファイル <sup>8</sup>	ニアフィールド	0.70	0.70	0.70	0.65	0.70
	ファアフィールド	0.95	0.90	0.90	0.90	0.95

注)

1) FWHM

2) FWHM (0.05cm<sup>-1</sup> オフセット可能)

3) 15%出力減少。出力に関してはお問い合わせ下さい。

4) エネルギーの86%の全角

5) 外部トリガーに対して、インジェクションシーダー使用時±1 nsec

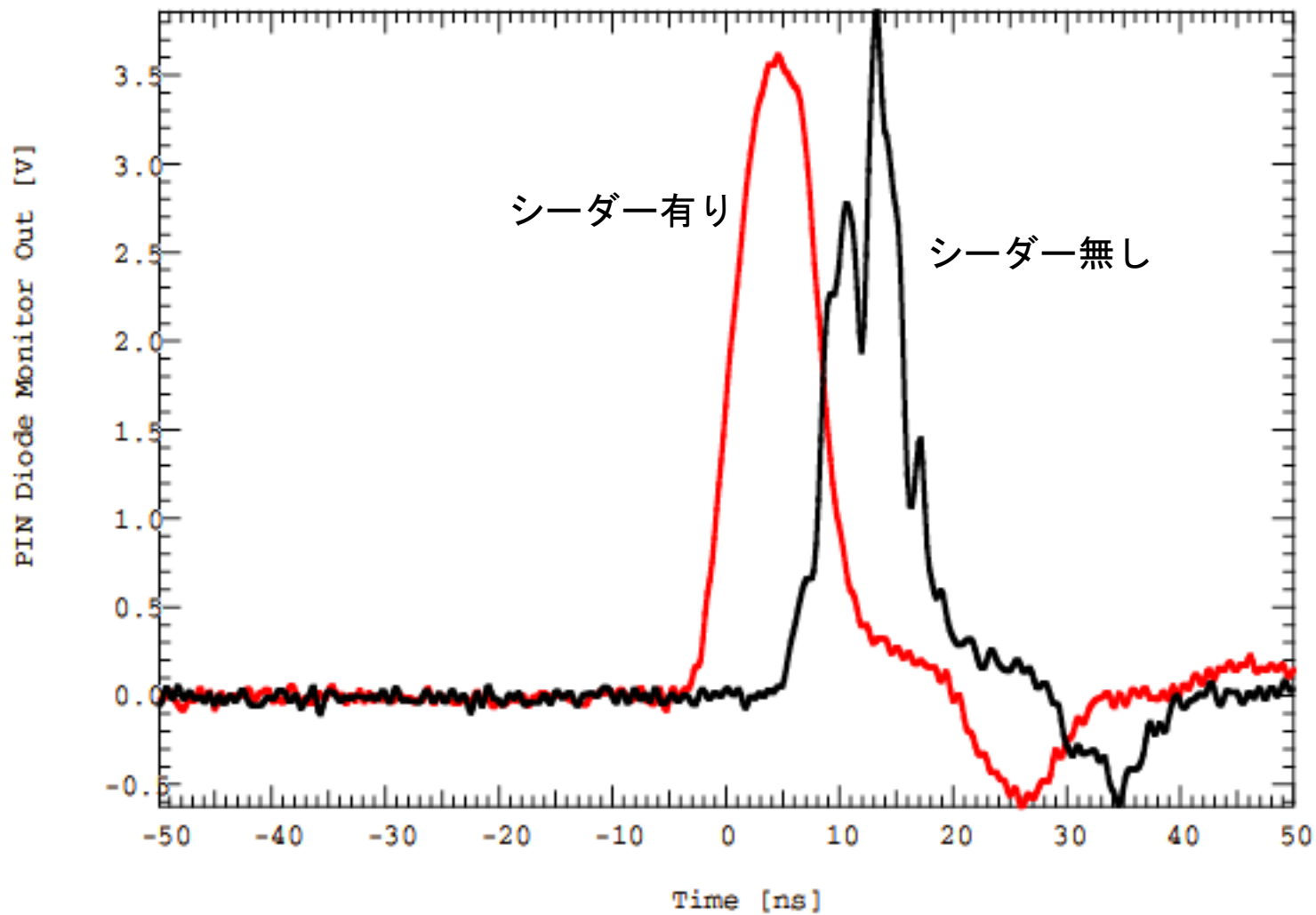
6) パルス99.9%に対するショットtoショット

7) 室温変化±3℃内で8時間の平均

8) ガウシアン プロファイルへの最小自乗平均



# インジェクションシーダーの効果 (355nm光)



## OPPO概要(1)



### Non-Collinear励起

Continuumが世に先駆けて採用したNon-Collinear励起は、励起光、シグナル光、アイドラー光、それぞれのビームが同軸上からわずかに外れるように構成されています。これによって発振しきい値を下げ、悪質な逆変換を防ぎ良好なビーム品質を効率よく出力すると共に、縮退域での発振を可能とし、とぎれることのない波長チューニングを実現しました。

Continuum

## Sunlite EX ExtRA™ ordinary 共振器 OPO

ExtRA™ ordinary 共振器 (特許#5,406,409)

SunliteEXはOPOシステムの心臓部となる共振器に独自の技術を搭載しています。このExtRA™ (Extra ordinary Resonance Architecture) という革新的な共振器設計はBBO結晶のExtRA™ ordinary面における狭い位相整合許容角を波長選択に利用し、グレーティングの偏光特性も考慮して各オプティクスをたくみにレイアウトしたもので、発振線の狭帯域化と広いチューニングレンジを容易に得ることができます。

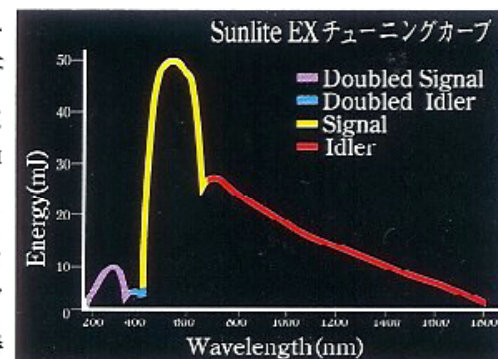




表 3.6 代表的な非線形光学結晶の性能比較

結 晶	透明な波長域 [ $\mu\text{m}$ ]	非線形定数*	光損傷のしきい値** [GW/cm <sup>2</sup> ]
KDP	0.2 ~ 1.5	1	0.4
LiNbO <sub>3</sub>	0.4 ~ 5.0	10	0.01~0.04
BBO	0.19~3.0	4.4	3~5
LAP	0.2 ~ 1.9	1.9	10~15
LBO	0.16~2.6	2.6~2.9	5~10
LiIO <sub>3</sub>	0.3 ~ 5.5	12	0.01~0.05
KTP	0.35~4.5	11~15	0.5~1.0

(注) \* KDP に対する比率

\*\* YAG レーザー (10ns) 光による

## OP0概要 (2)

**Continuum<sup>®</sup>**  
An Excel Technology Company

# Sunlite<sup>™</sup> EX OPO

The Next Generation of OPOs

### SUNLITE<sup>™</sup> EX OPO FEATURES & BENEFITS

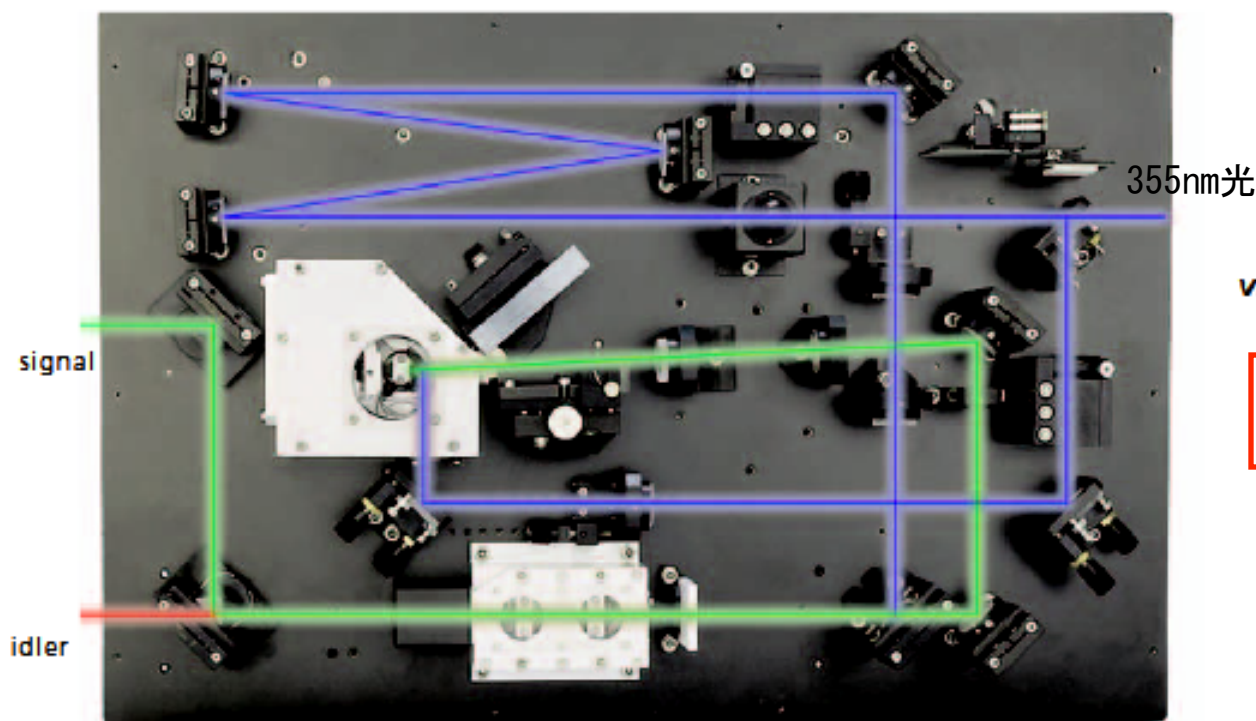
*Widest tuning range with  
no degeneracy gap  
( 445 - 1750 nm )*

*Narrow linewidth over entire  
visible tuning range ( < 0.075 cm<sup>-1</sup> )  
US Patent # 5,406,409*

*Wavelength extension available,  
FX-1 (222.5 nm - 450 nm)*

*Hermetically sealed,  
desiccated, and temperature  
stabilized crystal housings*

*Intuitive computer control via  
Windows<sup>®</sup> operating platform  
with RS-232 interface*





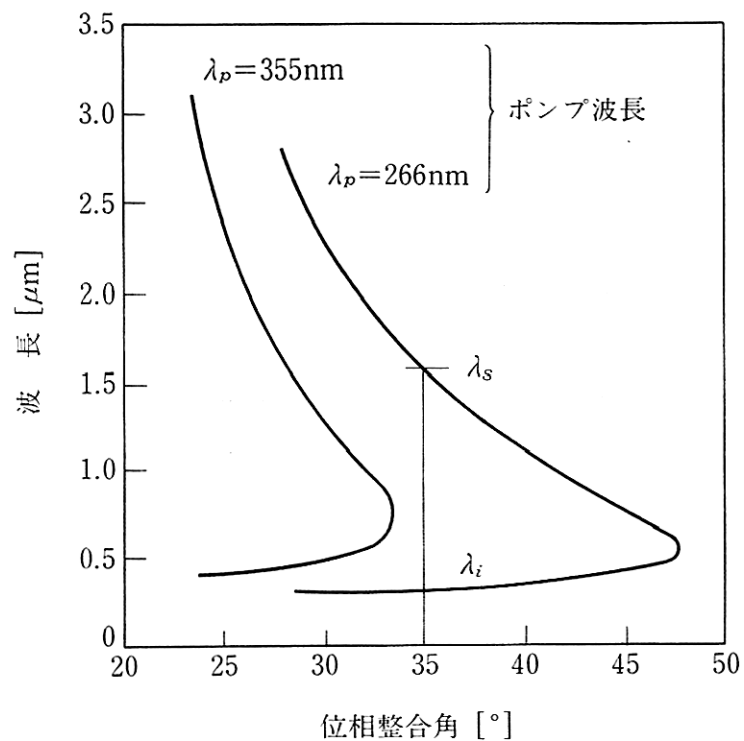


図 3.20 BBO 結晶を用いた OPO の信号・アイドラー波長  $\lambda_s$ ,  $\lambda_i$  と位相整合角の関係

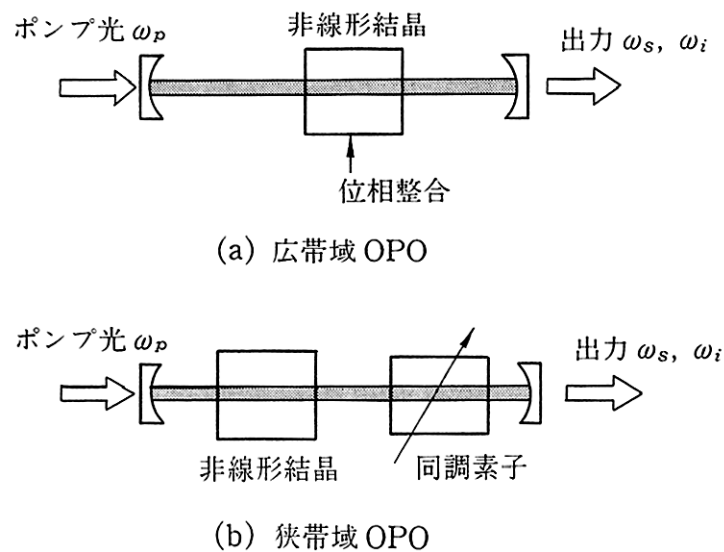
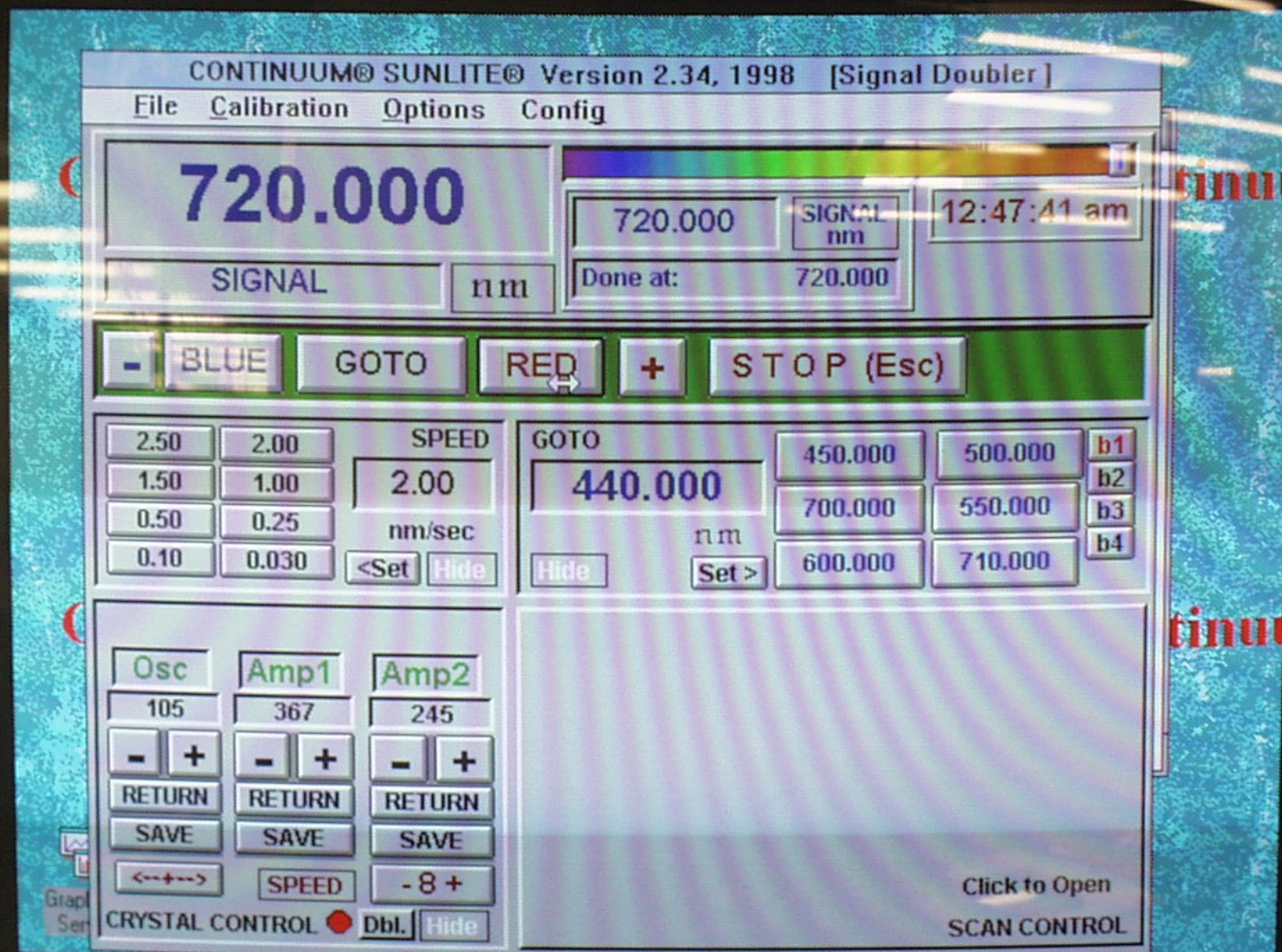


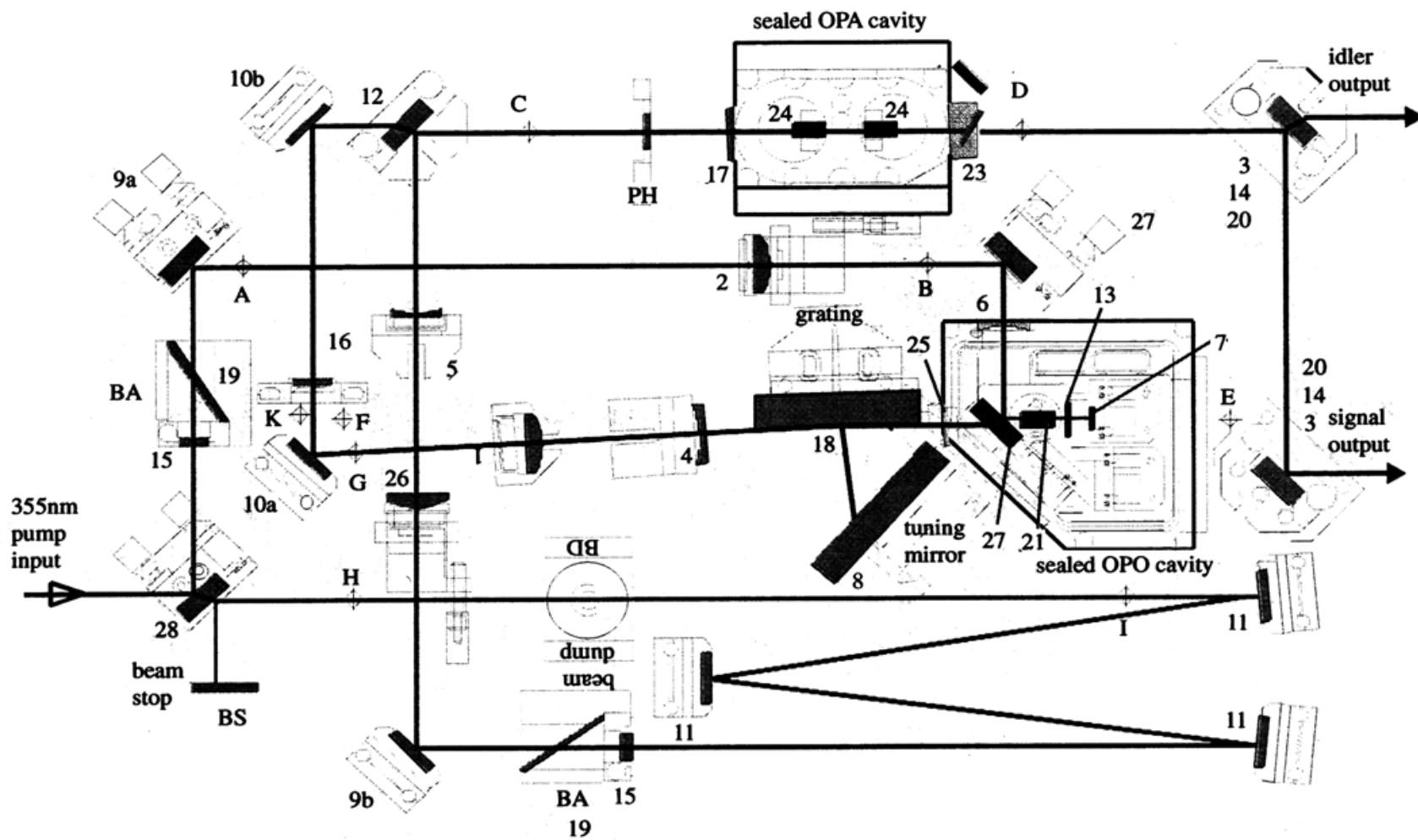
図 3.19 光パラメトリック発振器 (OPO) の構成

# OP0制御パソコン画面





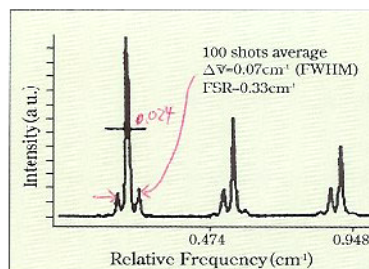
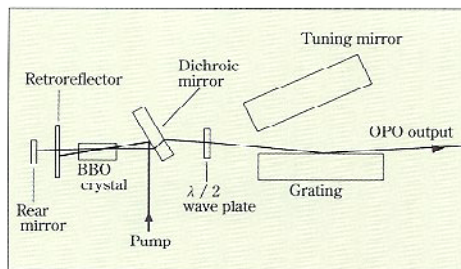
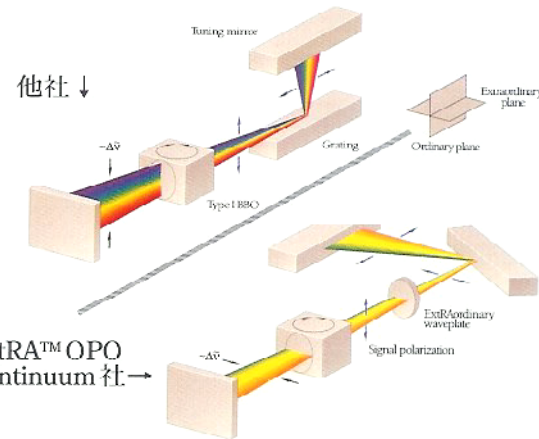
# OP0内部



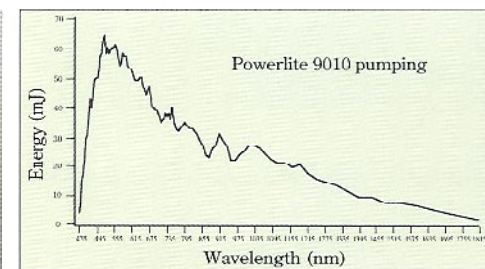
# OP0概要 (3)

## Revers励起

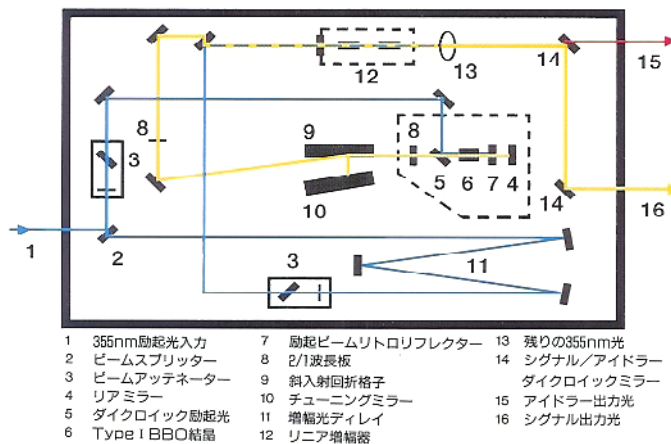
独創のExtRA™ ordinary共振器とNon-Collinear励起、これを極限まで最適化し、より高性能にグレードアップしたのがSunliteEXです。さらにSunliteEXでは、わずかな共振器内損失をも検討、Revers励起を用いることにより、寄生発振を抑え、縮退域での余分な蛍光も減少させました。共振器長も可能な限り短縮、限りなく単一縦モードに近い狭帯域発振線と波長分解能を現わします。比類なく高い発振効率により、これだけの狭帯域発振線にもかかわらず、より広い波長可変域と高出力エネルギーを達成しました。



SunliteEX gives you high resolution.



Sunlite EX チューニングカーブ

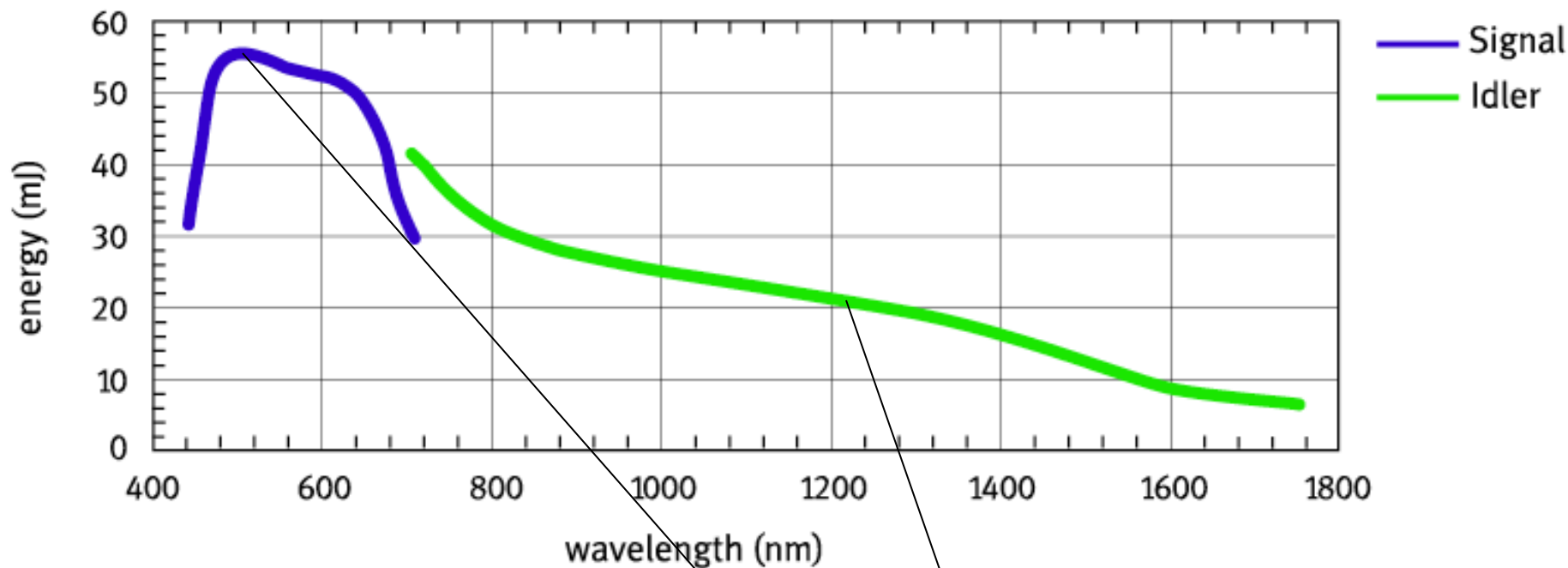


## ■特長

1. ExtRA™共振器による  
狭帯域発振線 ( $\leq 0.08\text{cm}^{-1}$ )  
広波長可変域 (445-1750nm)
2. コンパクトパッケージで励起用レーザー (powerlite) と一体化できます。
3.  $\text{N}_2$ パージ不要。BBO結晶湿気保護シールド設計
4. システム制御をWindowsで行っており、Windows上でリモートコントロール可能です。



## OP0出力カーブ



$$\frac{1}{355nm} = \frac{1}{500nm} + \frac{1}{1224nm}$$

エネルギー保存

2 波長の光が同時に出てくる。短波長の光をsignal光,  
長波長の光をidler光という

# OP0仕様

## SUNLITE EX™ OPO SPECIFICATIONS

DESCRIPTION	Precision II Model Pump Laser		
	PL 8000	PL 9010	PL 9020
Pump Energy (mJ @ 355 nm)	300	350	300
Repetition Rate (Hz)	10	10	20
Tuning Range (nm)		445-1750	
Linewidth ( $\leq$ cm <sup>-1</sup> )		0.075	
Pulsewidth (nsec)		3-6	
Accuracy <sup>1</sup> ( $\pm$ nm)		0.05	
Precision <sup>2</sup> ( $\pm$ nm)		0.001	
Energy (at peak, mJ)	40	50	40
Beam Pointing Stability ( $\pm$ $\mu$ rad)	50	50	75
Divergence <sup>3</sup> (mrad)	< 1.5	< 1.5	< 2.0
Energy Stability ( $\pm$ %)	10	10	15
Polarization, vertical (%)	99	99	99
Energy (mJ) vs. Wavelength			
	5 @ 450 nm	6 @ 450 nm	5 @ 450 nm
	22 @ 500 nm	27 @ 500 nm	22 @ 500 nm
	40 @ 550 nm	50 @ 550 nm	40 @ 550 nm
	22 @ 600 nm	27 @ 600 nm	22 @ 600 nm
	22 @ 650 nm	27 @ 650 nm	22 @ 650 nm
	7 @ 700 nm	9 @ 700 nm	7 @ 700 nm
Beam Diameter (mm)	~ 4-6	~ 4-6	~ 4-6
Beam Shape <sup>4</sup>	Round $\pm$ 20%	Round $\pm$ 20%	Round $\pm$ 20%
Long - Term Frequency Stability <sup>5</sup>	< 1 x linewidth	< 1 x linewidth	< 1 x linewidth
Power Drift <sup>6</sup> ( $\pm$ %)	< 10	< 10	< 10



# FX-1概要(1)

## FX-1

### SunliteEX用 2 倍波発生システム



FX-1は Sunlite EXの出力光を非線形光学効果によって第2高調波へ変換し、紫外（UV）光を発生させる装置です。

Sunlite EXと一体化することができ、コントロールも Windows上で行っているため、共通のパソコンによって操作できます。

Sunlite EXと同様にBBO結晶が密閉されたハウジングの中に収められ精密に温度コントロールされているので、出力の安定度が高く、長時間に渡ってチューニングが外れません。

ハウジングの中には2個の結晶が配置されその1組ですべての波長可変域をカバーしており、結晶交換の必要がありません。

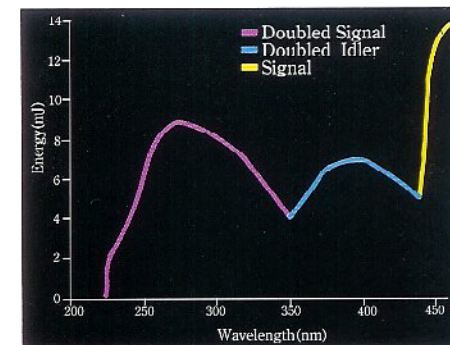
波長分離にはペリンプロックアップリズムを用いていますが、結晶の動きに合わせて自動的に角度を変え、出射光路が一定に保たれています。

基本波のアイドラー光、シグナル光の取り出しも容易にできます。

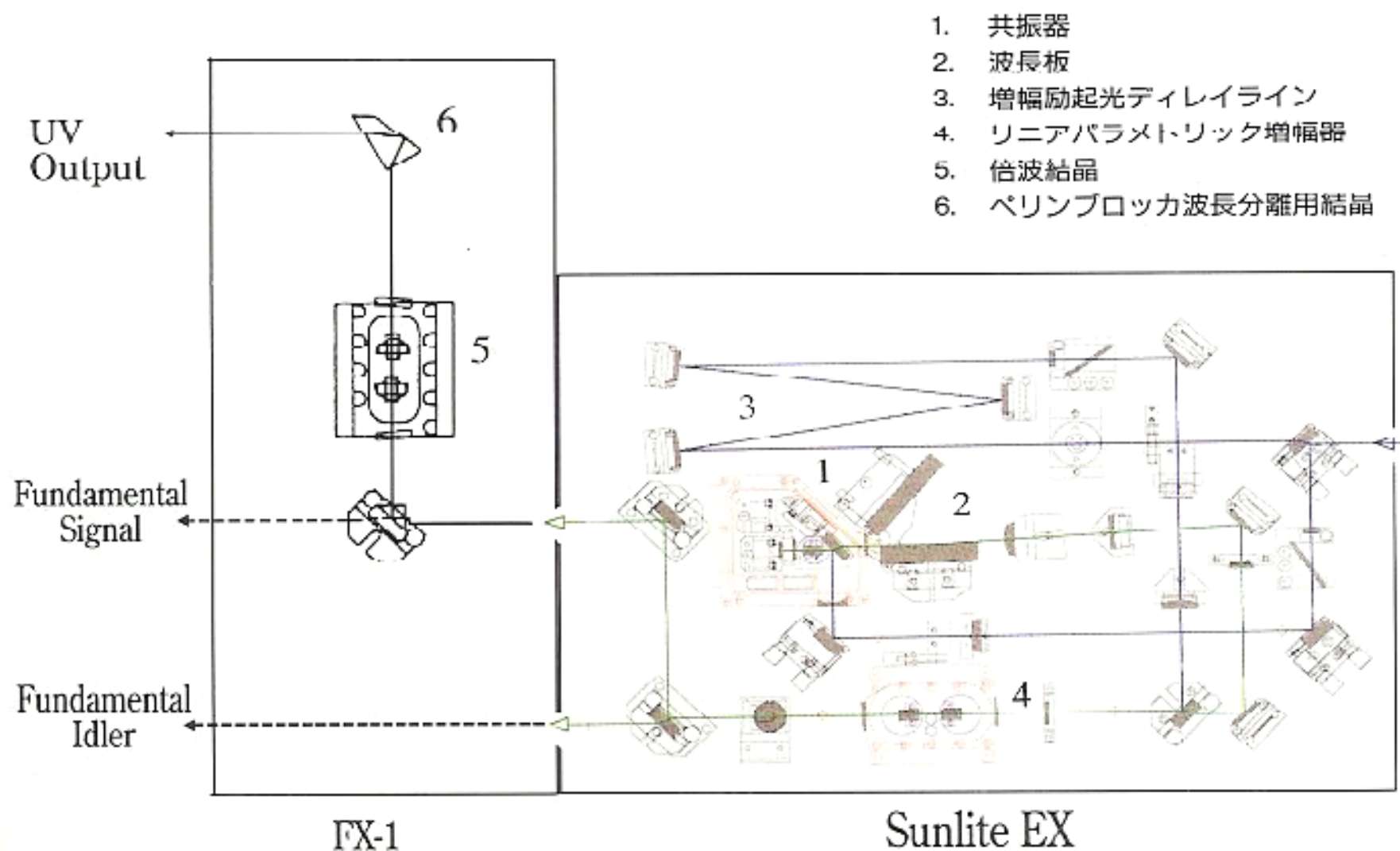
#### ■Sunlite EX仕様

	PL8000	PL9010	PL9020
出力エネルギー (mJ)	40	50	40
繰り返し (Hz)	10	10	20
チューニング域 (nm)		145-1750	
線幅 (cm <sup>-1</sup> )		≤0.08	
パルス幅 (nsec) <sup>1</sup>		3-6	
ジッター (nsec) <sup>2</sup>		±1	
Accuracy (nm)		±0.05	
Precision (nm)		±0.001	
FX-1 シグナル光波長域 (nm)		222.5-360	
シグナル光出力エネルギー (mJ)	6	10	5
アイドラー光波長域 (nm)		355-450	
アイドラー光出力エネルギー (mJ)	3	6	2

1. 励起光に依存 2. YAGのファイヤーに対して  
すべての仕様は550nmの値です。この仕様は予告なしに変更されることがあります。

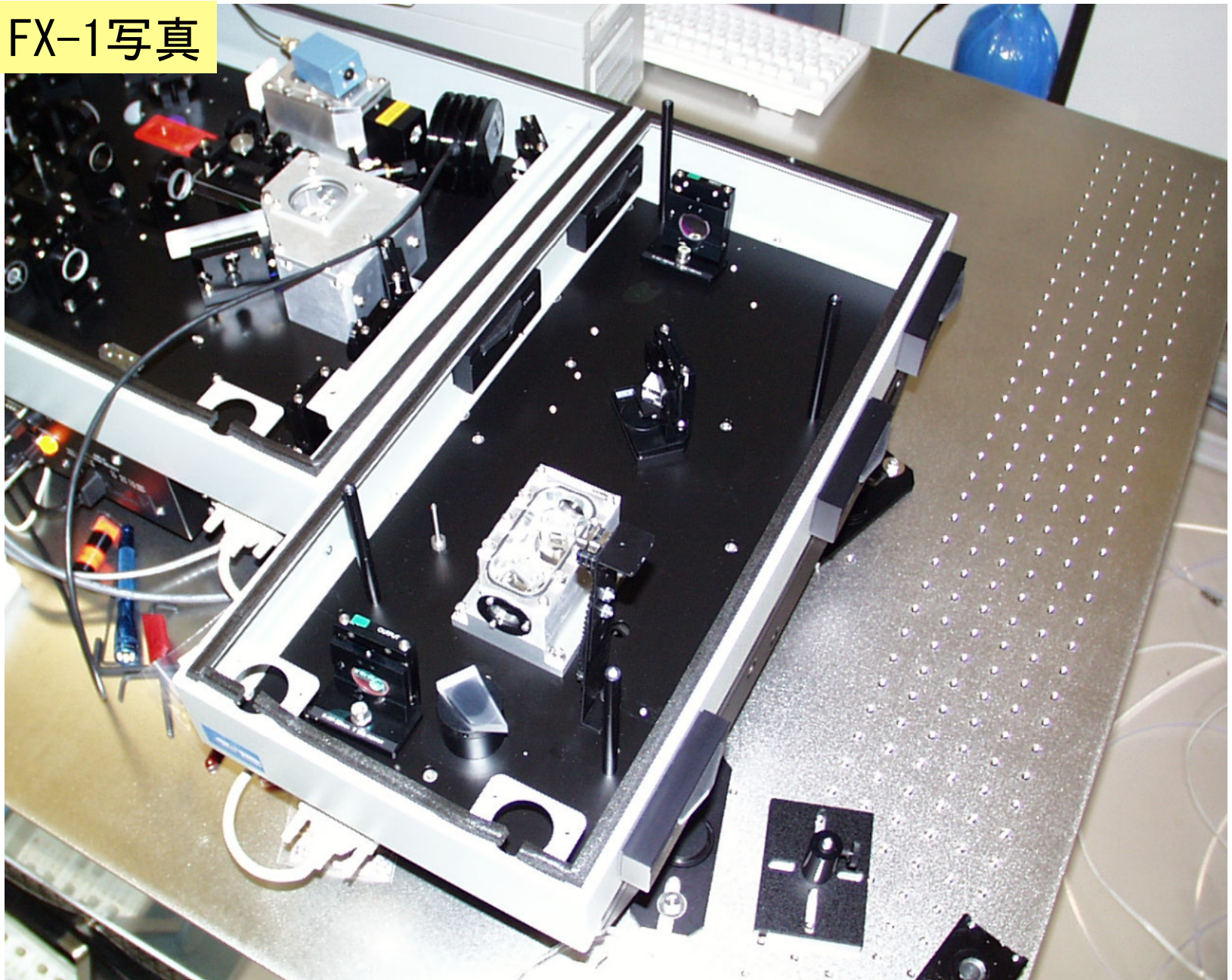


## FX-1構成





FX-1写真





エタロン板で発生する干渉フリンジを参照する波長計  
(OP0モニタの表示波長は理論値なので絶対値は波長計で測る)



計測基準 : He-Neレーザー (632.991399 nm in vac)  
表示最小値 : 0.01nm or 0.0001nm



## OP0 レーザーの応用例

- High Resolution Spectroscopy
- Emission Studies
- Pump-Probe Experiments
- Combustion Studies
- Fluorescence Studies
- Multi-Photon Excitation
- Nonlinear Optical Materials
- Remote Sensing
- Photolysis
- LIDAR
- CARS

LIDAR: Laser intensity direction and ranging

CARS: Coherent anti-stokes Raman scattering

## OP0 laserの使い方

(1) 除振台の下の電源投入(最後にキースイッチ)

(2) 壁際の冷却水バルブ2つを半開(45度)する. シーダーをSTBY→ONとし, 動作modeをDSBL→AUTOにする.

(3) 使用簿へ必要事項(使用日時, 名前, 目的, YAGレーザーコントローラに表示された総フラッシュ数)を記入する.

(4) コントローラにてCharge→Fireを数回繰り返し, フラッシュランプのsimmerを点灯させる. 除振台下の電源パネルのsimmerというLEDの点灯を確認する. auto/manualボタンでautoモードへ移行.

(5) コントローラのprogramボタンで動作プログラム1(PGM1)を見つけてactivateボタンで選択し, startボタンで実行する(～10分程度).

(6) stopボタンでPGM1の動作を止め, programボタンで動作プログラム3(PGM3)を見つけてactivateボタンで選択し, startボタンで実行する(～10分程度).

(7) コントローラのshutterボタンでshutterを開け, Q-switch on/offボタンでQ-switchを動作させる. 正常であれば10Hzでの532nm光の点滅が確認できる.



(8) YAGレーザーとOP0部との間のボックス内にパワーメータのヘッドを置き、355nmパルス光の出力を確認する。除振台下右の電源パネル(CB)のdelay adjustダイヤルの値を最小( $50\mu\text{s}$ )に、コントローラの4つの回転矢印ボタンを押して、最大出力( $\sim 350\text{mJ/pulse}$ 以上)になるよう調節する。

(9) 高速PINダイオードによりYAGレーザーの散乱光の時間波形をモニタし、滑らかなガウシアン似のパルス形状であることを確認する。

(10) 最大出力の355nm光をOP0部へ注入する。OP0光学系のズレ等が少なければ、OP0制御パソコンのモニタ画面に表示されたsignal光の波長でOP0発振器部分が発振する。

(11) OP0増幅部へも355nm光を注入すると、発振している光が増幅され、OP0部の出口(FX-1の入り口)付近でグッと明るくなる。

(12) OP0制御パソコンのモニタ画面でOP0発振器、OP0増幅部の(結晶角度の)調整を行ない、最大出力を得る。倍波をとる必要がなければ、この段階で実験に使う。

(13) OP0部の出力光の倍波を使用したい場合は、OP0制御パソコンのモニタ画面でFX-1の波長変換部の(結晶角度の)調整を行なって紫外光を得てから実験に用いる。

・ 出力の安定化と安全のために、全調整が終わったら、レーザー各部のカバーは閉めること。(UCR内の気流は出力を不安定にする)

# 本レーザーシステムの使用例

## (1) $\text{CF}_2$ ラジカルのレーザー誘起蛍光計測

FX-1の紫外パルス光で励起 → 紫外蛍光を観察

## (2) CFラジカルのレーザー誘起蛍光計測

FX-1の紫外パルス光で励起 → 紫外蛍光を観察

## (3) $\text{N}_2$ の振動ラマン散乱計測, 純回転ラマン散乱計測

YAGの532nmパルス光を照射 →  $\text{N}_2$ の振動準位, 回転準位の影響を受けてシフトした散乱光スペクトルの観察

(シーダーを使うことで532nmパルス光の線幅も非常に狭いため, 532nm直近に発生する純回転ラマンスペクトルも観測できた)

## (4) OHラジカルのレーザー誘起蛍光計測 (実施中)

FX-1の紫外パルス光で励起 → 紫外蛍光を観察



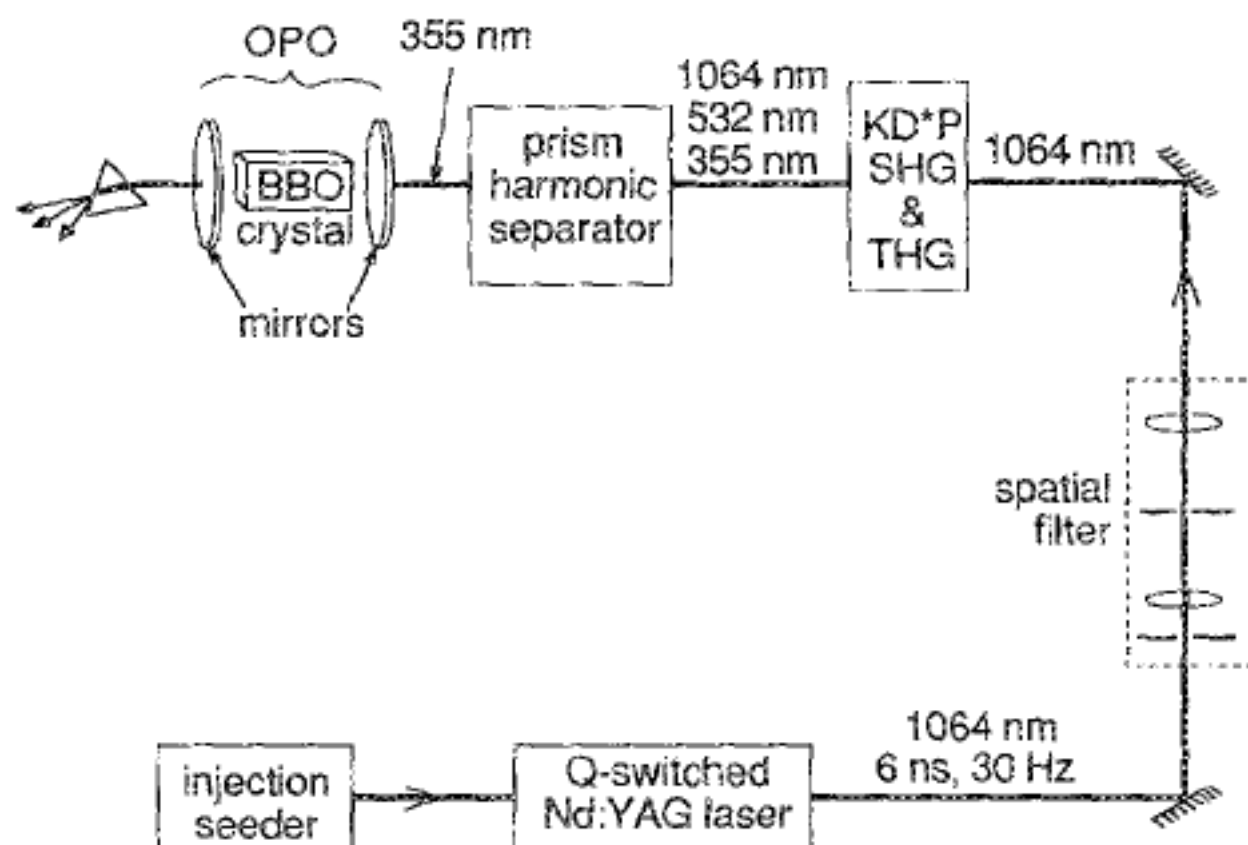


FIG. 1. Schematic drawing of the BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> visible optical parametric oscillator pumped by a frequency-tripled injection-seeded Nd:YAG laser.