

分子科学研究所 夏の体験入学

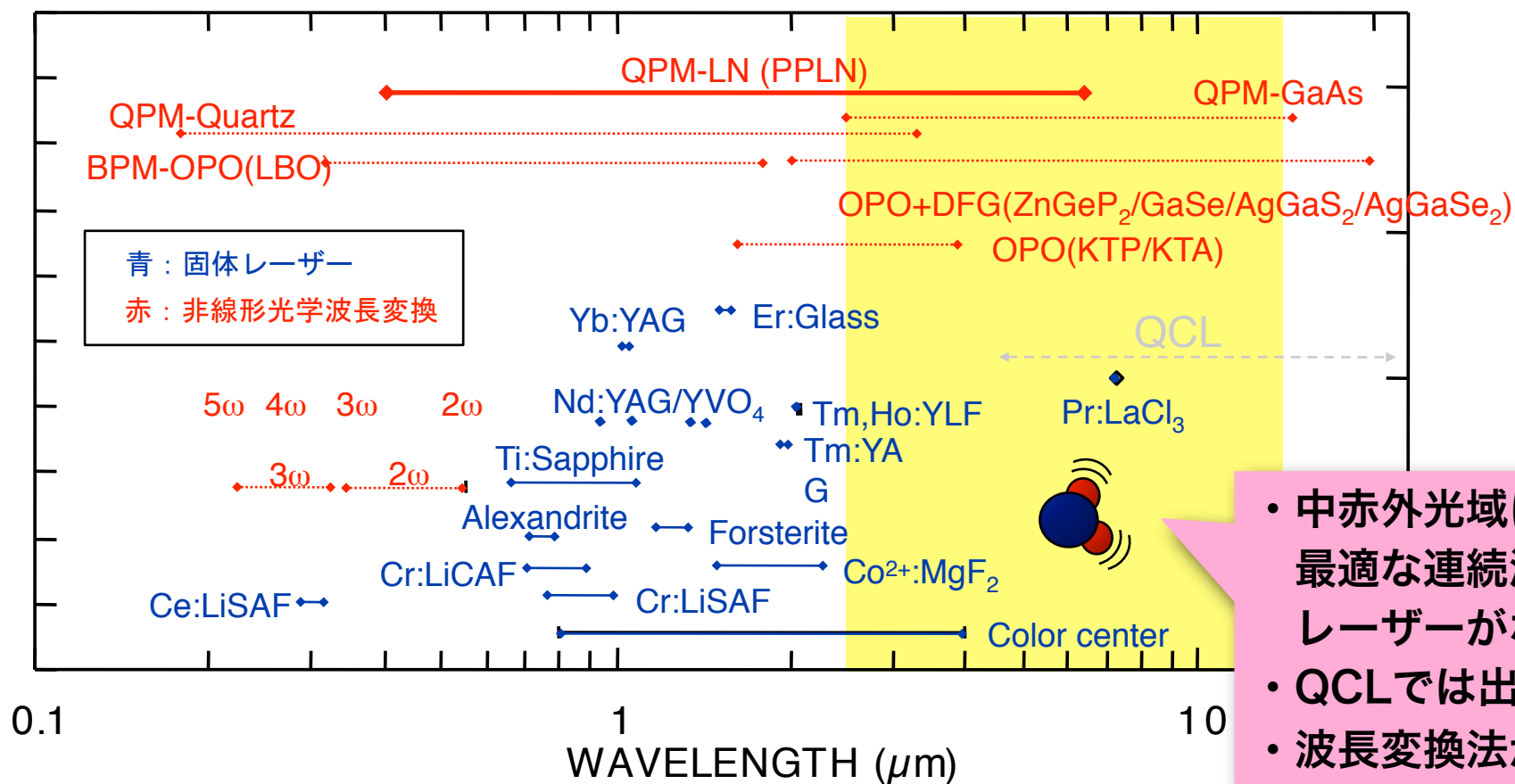
# 光シンセサイザー

- マイクロ固体フォトンクスからのアプローチ -

分子制御レーザー開発研究センター  
平等グループ

# 連続波長可変光源と分子科学

## 固体レーザー及び非線形波長変換によりカバーできる波長域



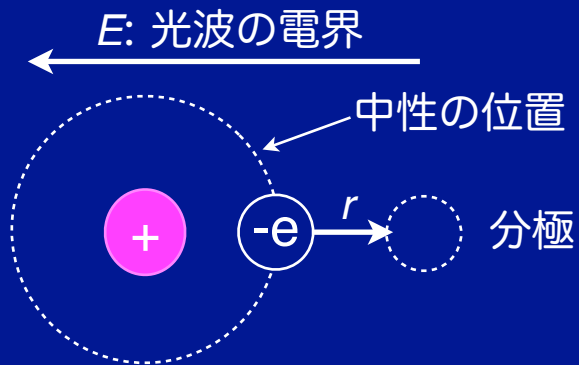
1 $\mu\text{m}$ 領域の高出力・単一周波数レーザーをベースに

非線形光学効果を利用した波長変換技術による波長可変中赤外コヒーレント光発生

# 光の発生と制御

## 光と物質の相互作用の元となる分極現象

**分極現象** …構成原子内の電荷（光波帯：電子）の偏りによって生ずる



$$H = \left( \sum_j e r_j \right) \cdot E_0 \cos \omega t = -\mu \cdot E_0 \cos \omega t$$

電子と光波の相互作用における位置エネルギー（電気双極子モーメント）

電気双極子モーメントの集合 → **分極**

$$P(t) = \underbrace{\varepsilon_0 \chi^{(1)} E(t)}_{\text{線形項}} + \underbrace{\varepsilon_0 \chi^{(2)} E^2(t)}_{P_{NL}(t) : \text{非線形項}} + \varepsilon_0 \chi^{(3)} E^3(t) + \dots$$

$$\chi^{(1)} = \chi'_e - i \chi''_e$$

発光・吸収

非線形光学波長変換  
SHG/OPG/DFG...

光の波長程度で分極（物質）を制御するとの発想

**マイクロ固体フォトニクス**

- ・マイクロドメインによる光制御
- ・高輝度なジャイアント光を創出

# ジャイアントマイクロフォトンクス

光エネルギー変換の革新をめざしたマイクロ固体フォトンクスの深化

● 光制御：分極（物質と光の相互作用）

Opt. Mater. Express, 1(5) 1040 (2011) *INVITED*

Opt. Mater. Express, 1(7) 1376 (2011) *INVITED*

$$P(t) = \epsilon_0 \chi^{(1)} E(t) + \epsilon_0 \chi^{(2)} E^2(t) + \epsilon_0 \chi^{(3)} E^3(t) + \dots$$

$P_{NL}(t)$  : Nonlinear term

$$\chi^{(1)} = \chi'_e - i\chi''_e$$

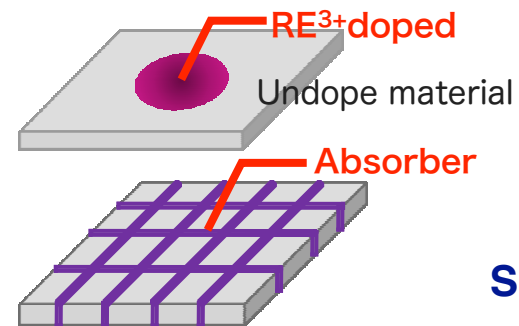
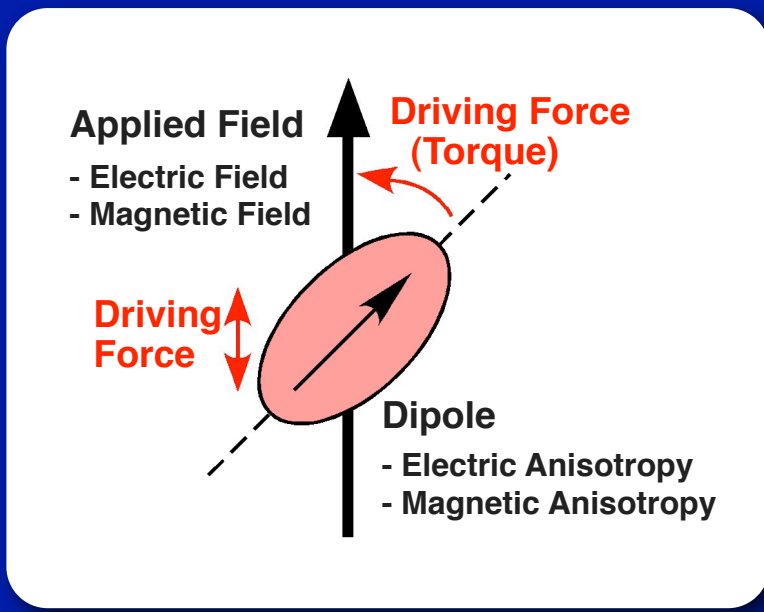
Emission/Absorption

Nonlinear wavelength conv.  
SHG/OPG/DFG...

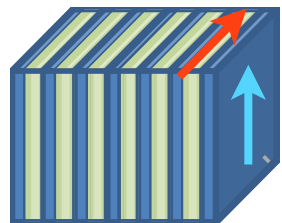
● マイクロドメイン制御：ギブスの自由エネルギー

$$dG = -sdT + \sum_i \mu_i dn_i + \sum_{i,j} e_{ij} d\sigma_{ij} + \mathbf{E} \cdot d\mathbf{P} - \mathbf{M} \cdot d\mathbf{B}$$

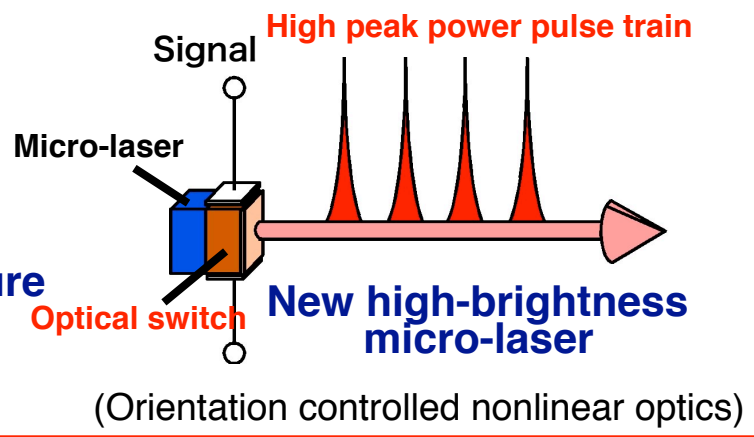
Entropy      Chemical potential      Stress      Electric Field      Magnetic Field



New optical function for highly performance



Sub-micron periodic structure  
(Orientation controlled laser ceramics and NLO devices)



# マイクロ固体フォトリニクスの研究テーマ

## マイクロドメイン構造制御

：ギブスの自由エネルギー制御

### プロセス開発

- ・レーザーセラミックス
- ・QPM素子 (PPMgLNなど)
- ・接合 (常温接合など)

### 材料評価

- ・分光特性評価
- ・熱機械特性評価
- ・量子効率評価

## マイクロドメイン光制御

：分極の制御

### マイクロチップレーザー

- ・波面制御 (高出力化, 光渦化など)
- ・波形制御 (ジャイアントパルスなど)
- ・スペクトル制御 (単一モード化など)

### 非線形光学

- ・高調波発生 (SHG, FHGなど)
- ・光逡倍 (OPO, DFGなど)
- ・位相整合に伴う光制御

今回のテーマ：中赤外光発生の実験

# 非線形光学効果を利用した波長変換法

- 光電場 $E$ と非線形光学結晶の相互作用: 非線形分極 $P$

$$P = \epsilon_0 \chi^{(1)} E + \epsilon_0 \chi^{(2)} EE + \epsilon_0 \chi^{(3)} EEE + \dots$$

- 二次の非線形項に着目すると: 非線形光学効果

$$P_{NL} = \epsilon_0 \chi^{(2)} EE = \epsilon_0 2dE^2$$

$$d = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} \end{pmatrix}$$

非線形光学定数 (材料固有の値)

例.  $E = E_1 + E_2 = \sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t)$  とすると

$$P = \epsilon_0 2d(E_1 + E_2)^2 = \epsilon_0 2d(E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2)$$

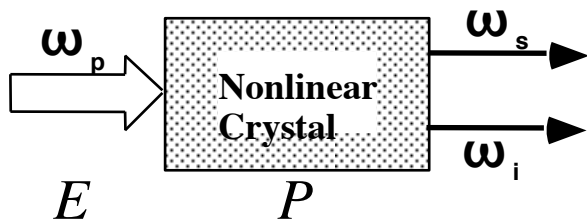
$$= \epsilon_0 2d[\sin^2(\omega_1 t) + \sin^2(\omega_2 t) + 2\sin(\omega_1 t)\sin(\omega_2 t)]$$

$$\frac{1}{2} [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t]$$

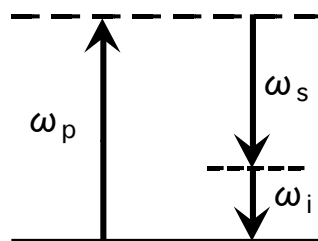
$\omega_1 - \omega_2$  の電子振動  
差周波 (DFG)

$\omega_1 + \omega_2$  の電子振動  
和周波 (SFG)

効率良く発生させたい波長で、位相整合が可能且つ非線形定数 $d$ が大きい必要がある

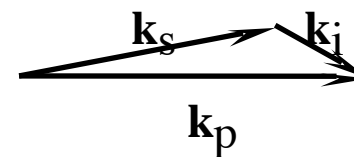


パラメトリック相互作用



エネルギー保存則

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i$$



運動量保存則 (波長選択)

位相整合  $k_p = k_s + k_i$

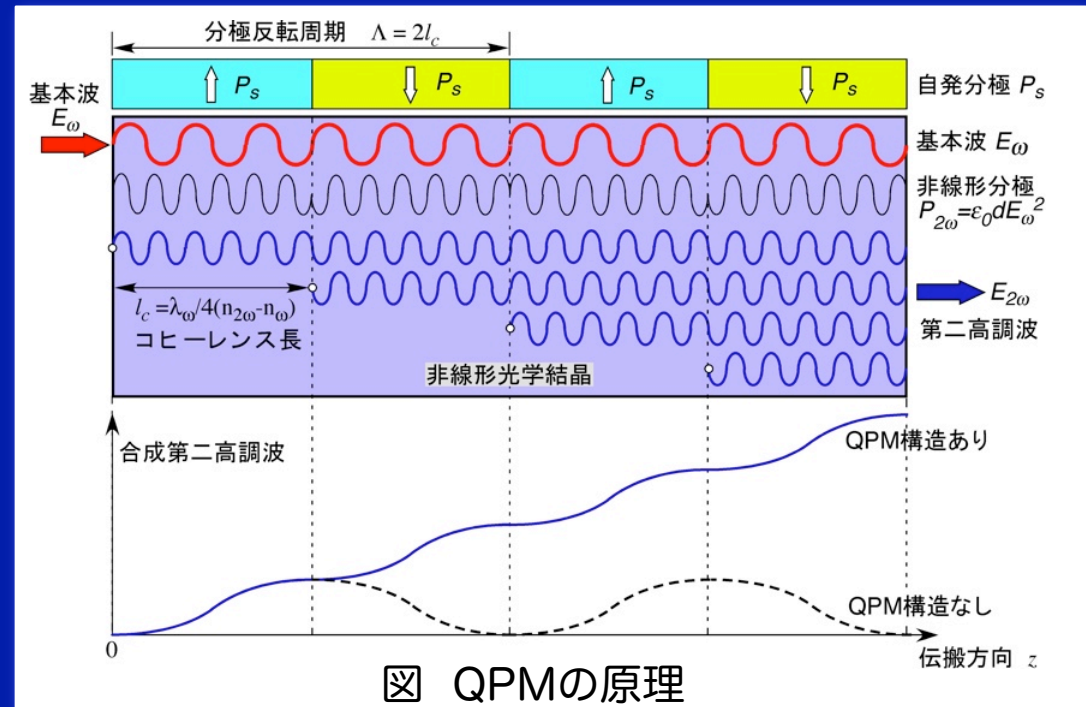
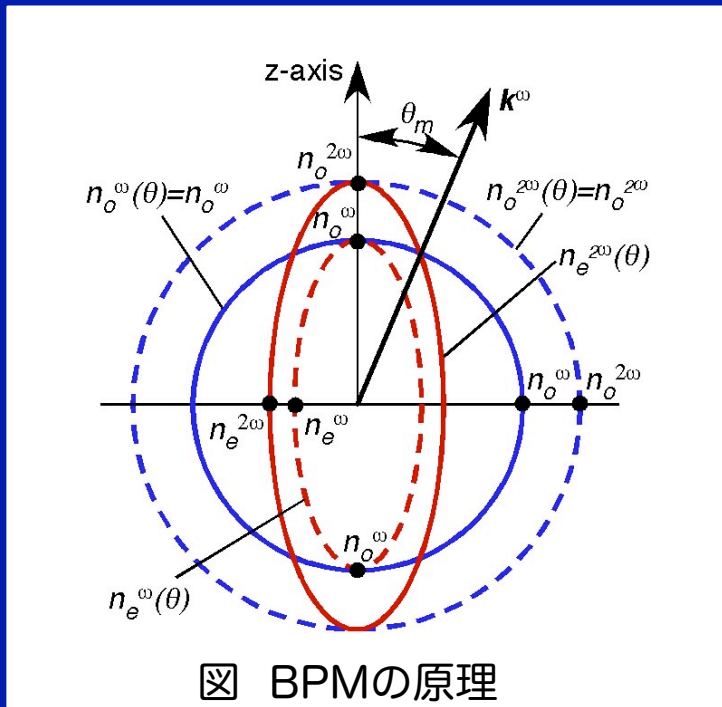
# 非線形光学波長変換

- 複屈折位相整合 (BPM) による非線形光学波長変換の問題

- 効率が低い ▶ 強力なレーザーが必要
- 位相整合条件に制約 ▶ 新材料の開発が必要

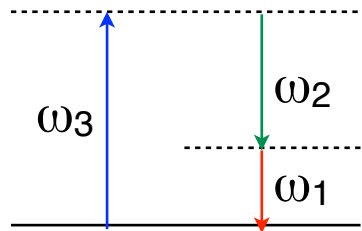
- 解決法：周期分極反転擬似位相整合 (QPM) の展開

- 長所：位相整合条件を設計できる (新材料発見と等価) ▶ 最高の特性が利用可能
- 短所：光損傷によるパワーの制約 (実用性の欠如)
- : 開口が小さくパワーが制約 ( 同上 )



# では、波長可変中赤外光源を試してみよう！

## ● 光パラメトリック発振 (OPO)



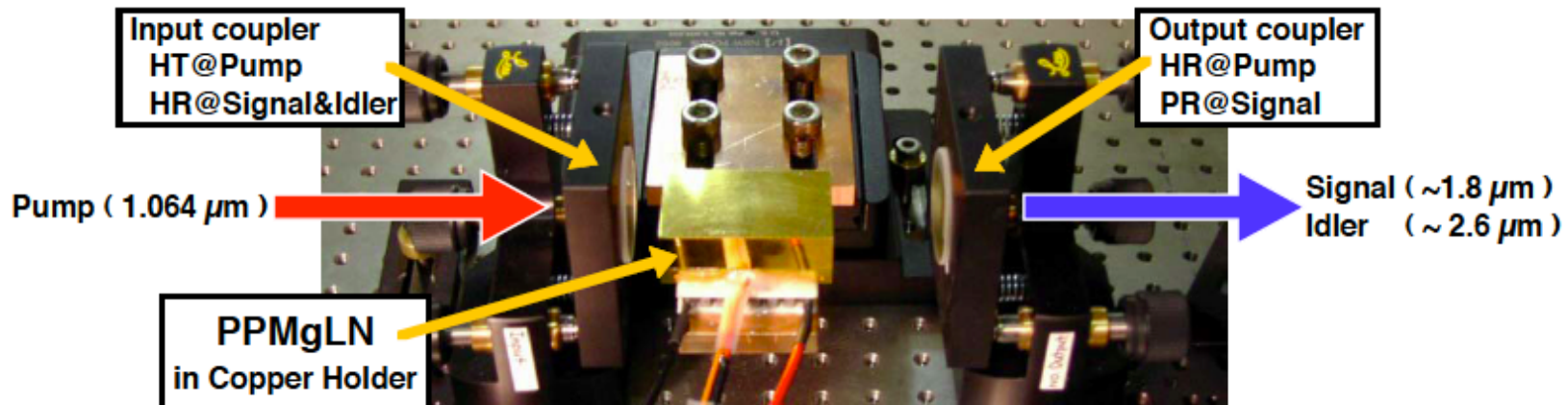
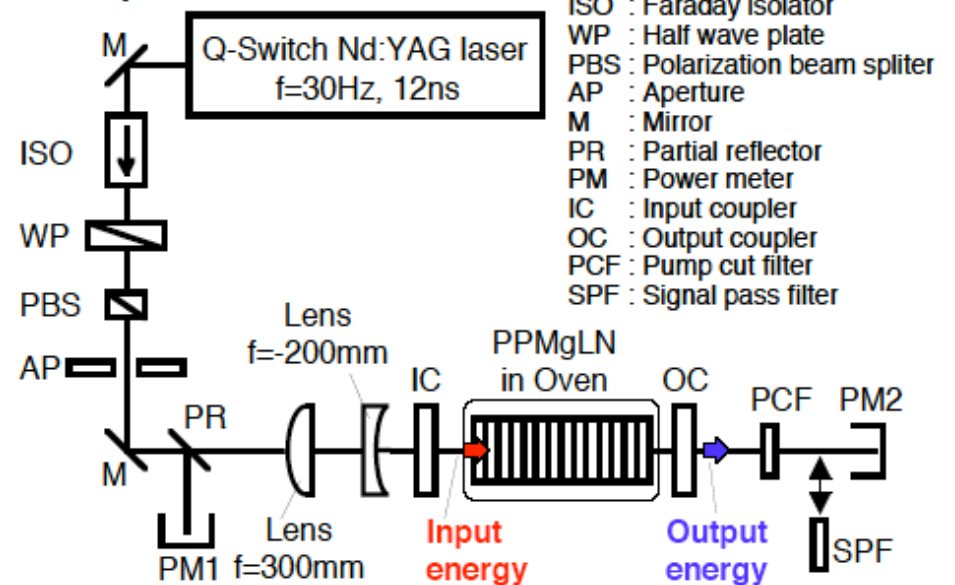
この位置を位相整合条件で制御することで波長可変とする

### ● OPOの課題

- BPM-OPO : 効率・位相整合波長域が制限
- QPM-OPO : 出力が制限 (数mJが限界)

→ PPMgLN

### Set up





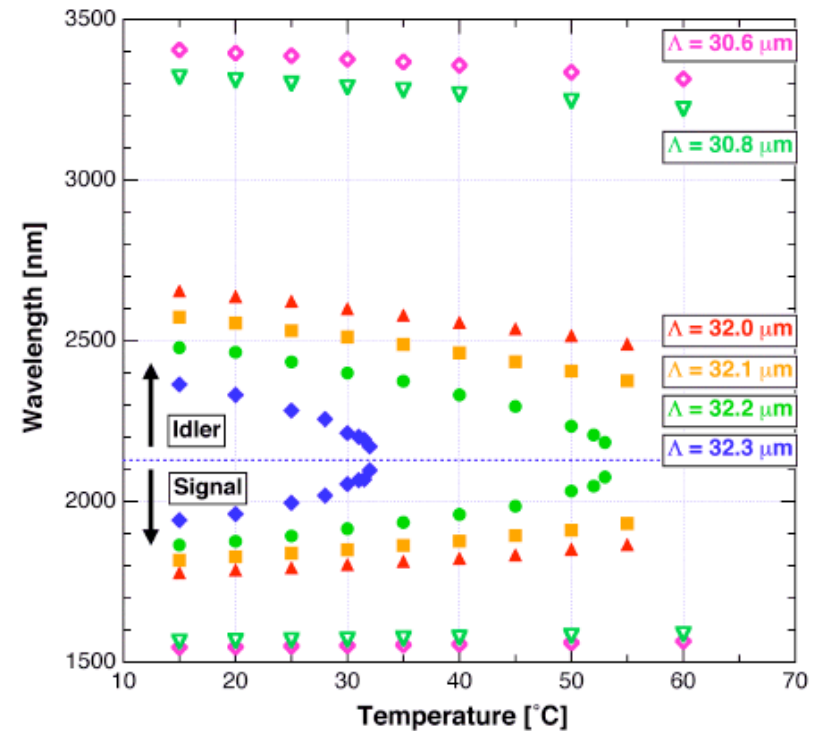
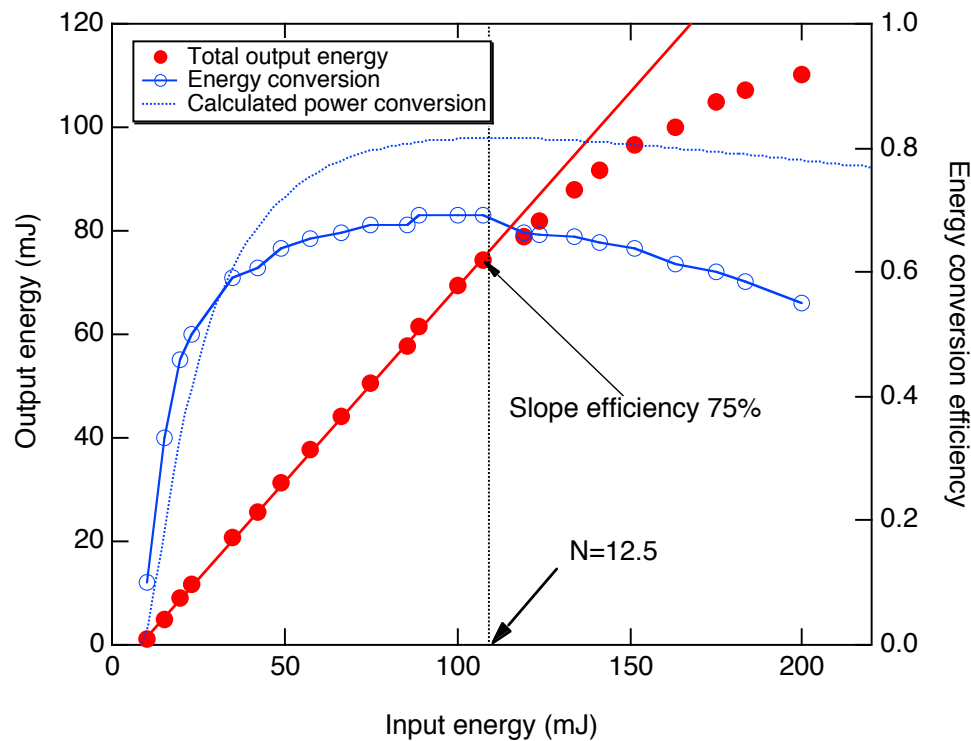
# では、波長可変中赤外光源を試してみよう！

## ● 光パラメトリック発振 (OPO)

### ● 参考となる特性

Opt. Lett., 32(20), 2996-2998 (2007).

- エネルギー：110 mJ
- しきい値：~10mJ
- スロープ効率：75%
- パルス幅：12 ns



波長可変光源→光のシンセサイザー

## ● 夏の体験入学テーマ

- 最新の非線形光学波長変換法であるQPM素子に直接触れる
- 分子の指紋領域でのジャイアントパルス光の発生の体験

さらに興味のある方は

[taira@ims.ac.jp](mailto:taira@ims.ac.jp)

までメール下さい