



Research Institute for Science and Engineering
Waseda University

大強度高繰り返しレーザー開発
～Ybファイバ発振器試験～
～Striped LCSに関する計算～

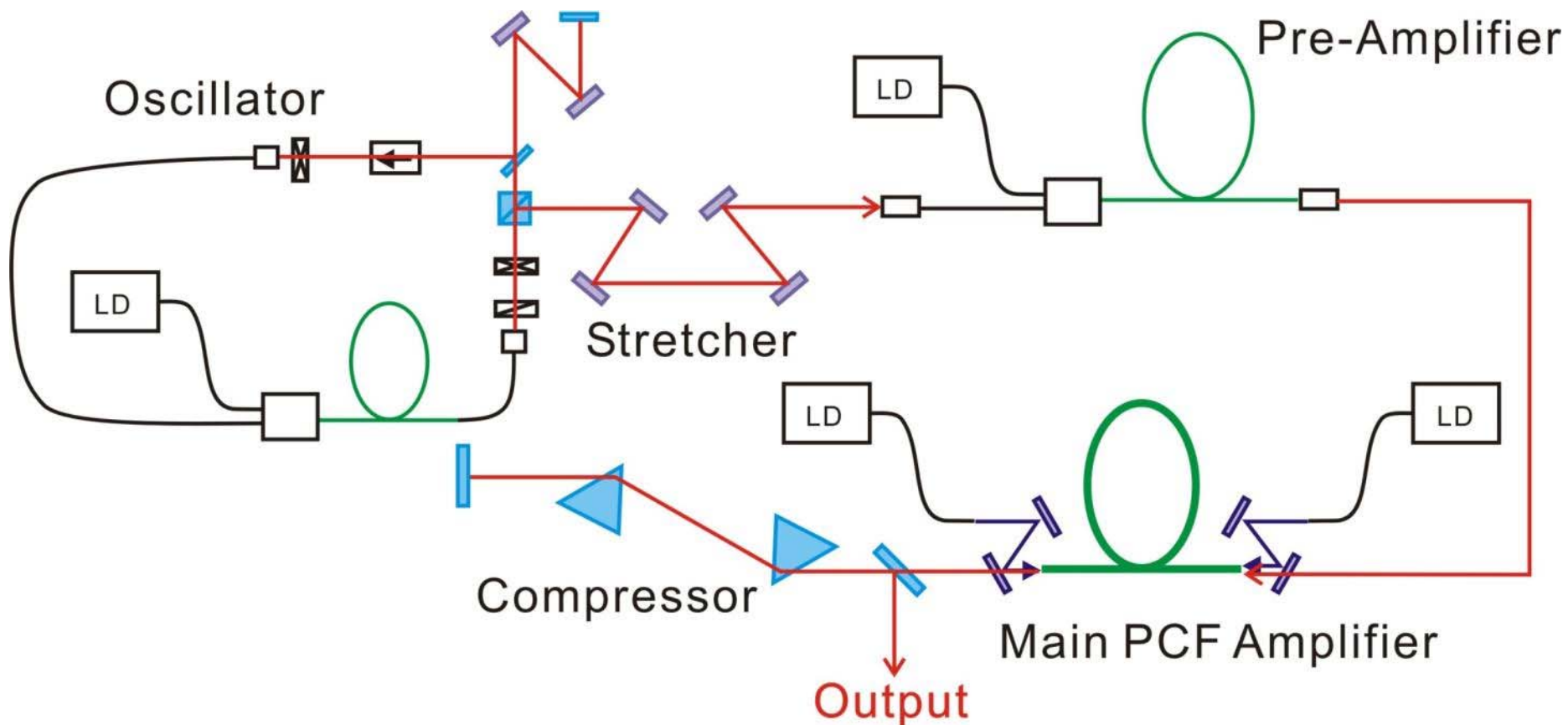
早稲田大学 理工学術院
鷺尾方一、坂上和之



研究目標



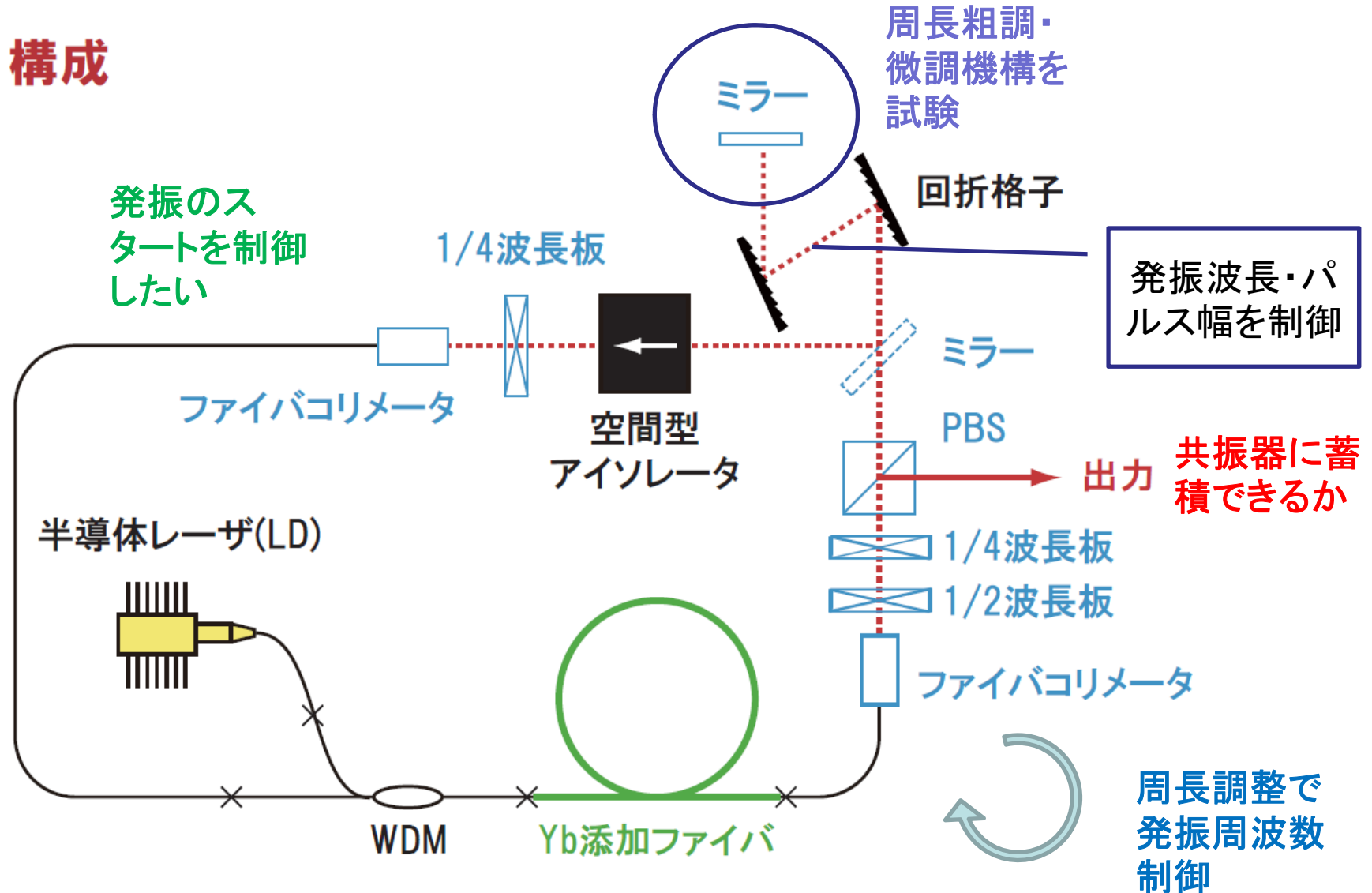
最終的な構成 (想定図)



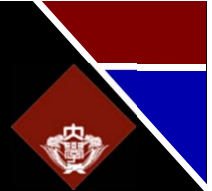
Yb Fiber Laser



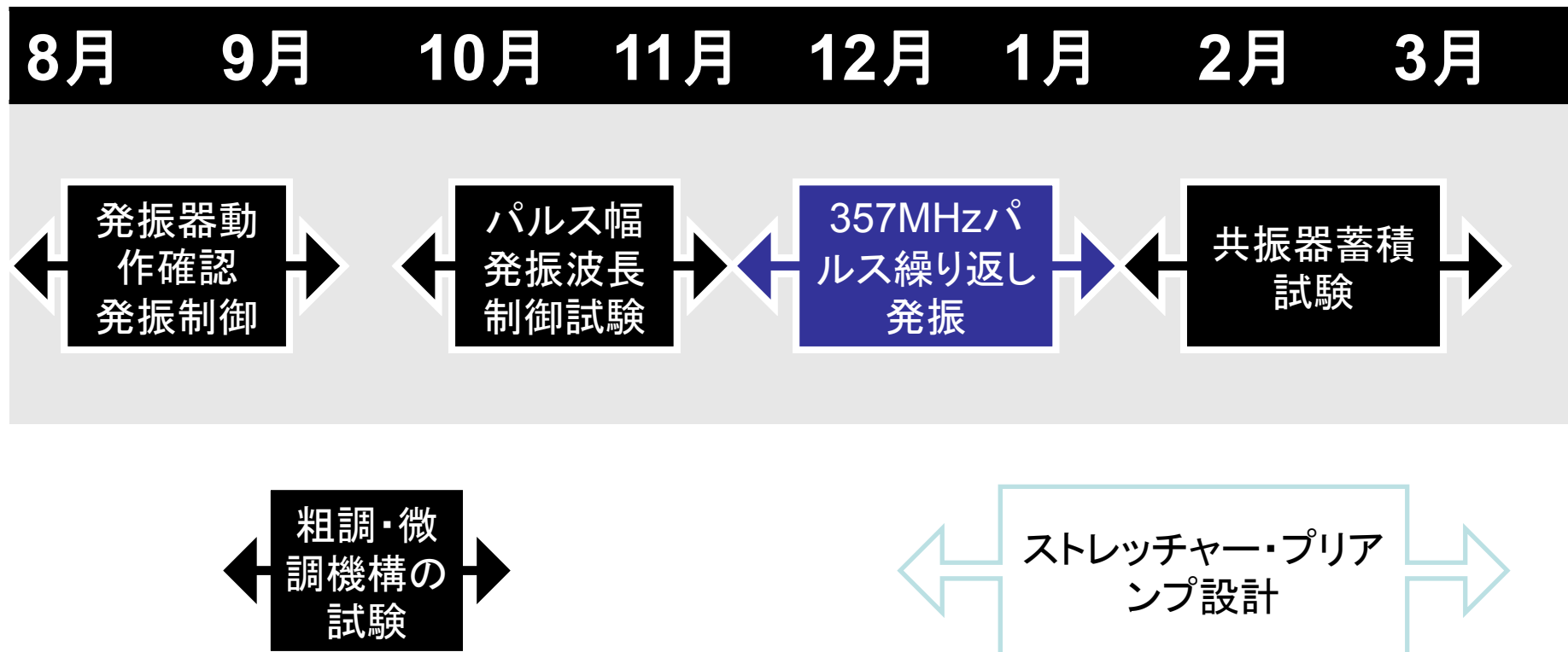
構成



今年度開発スケジュール



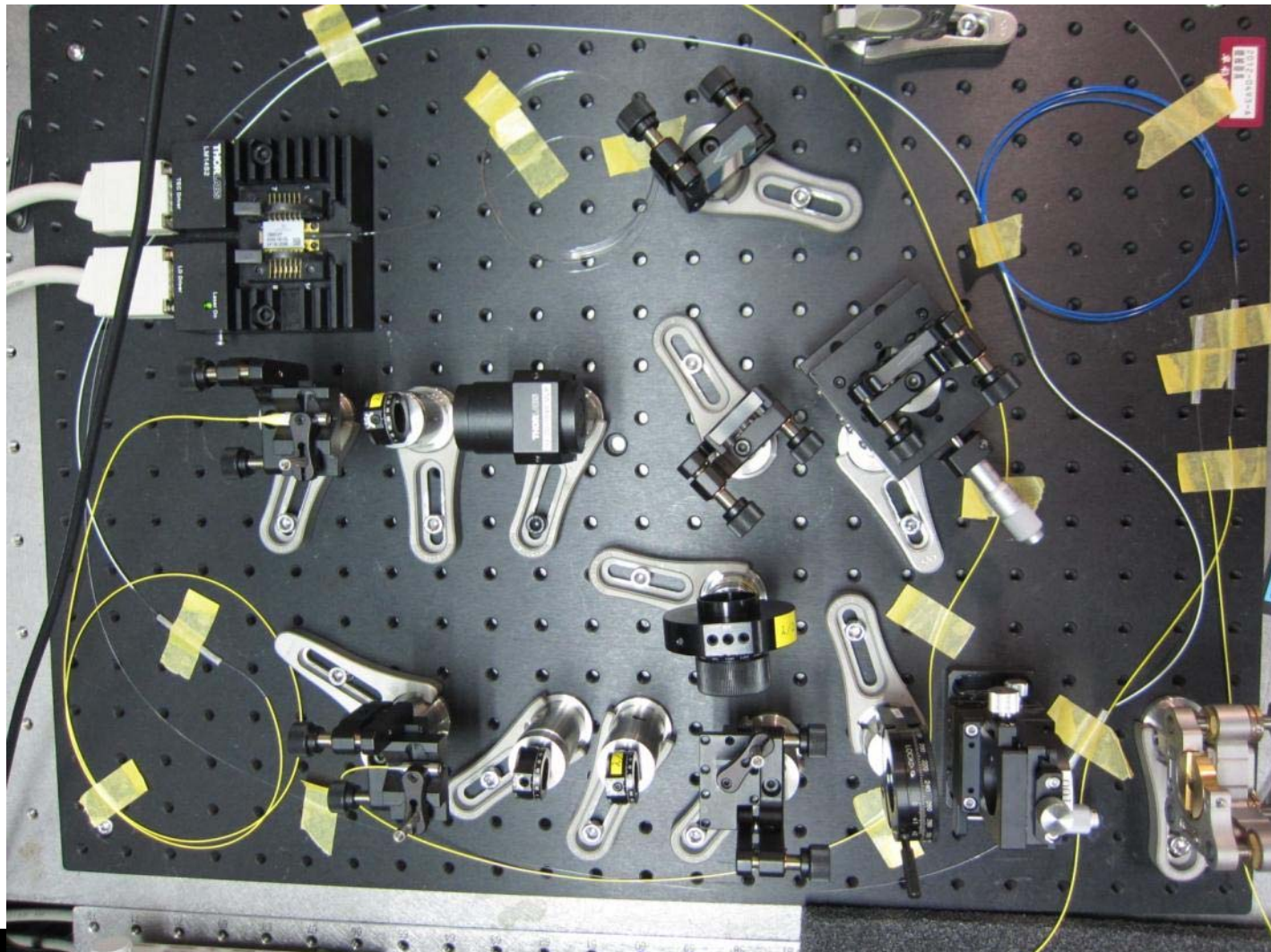
今年度の開発スケジュール



発振のセルフスタート化



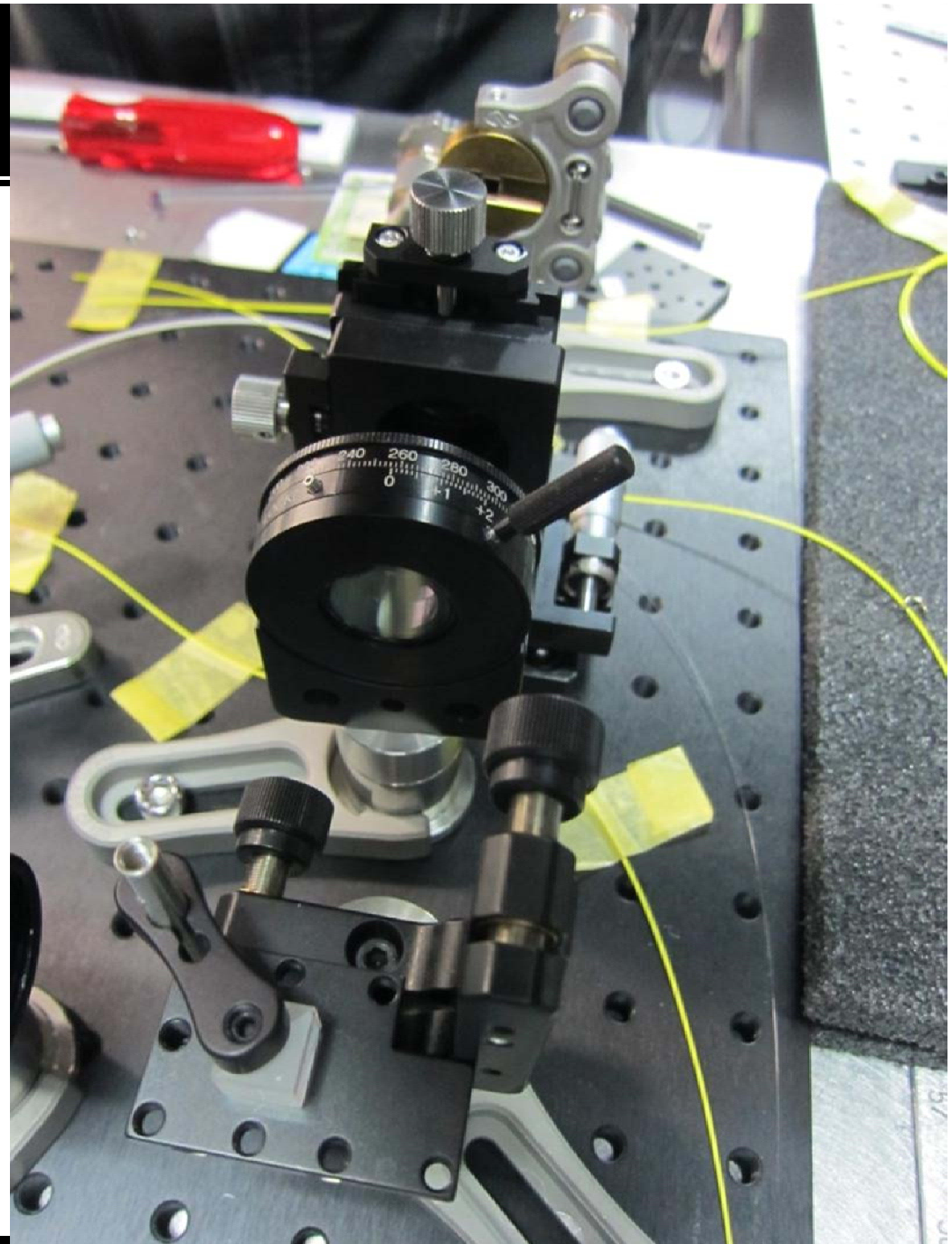
レーザー発振器にSESAMを導入



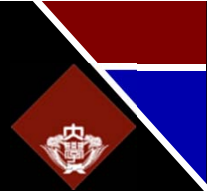
SESAMの導入

SESAM部の写真

f=50mmのレンズで集光して
当てている



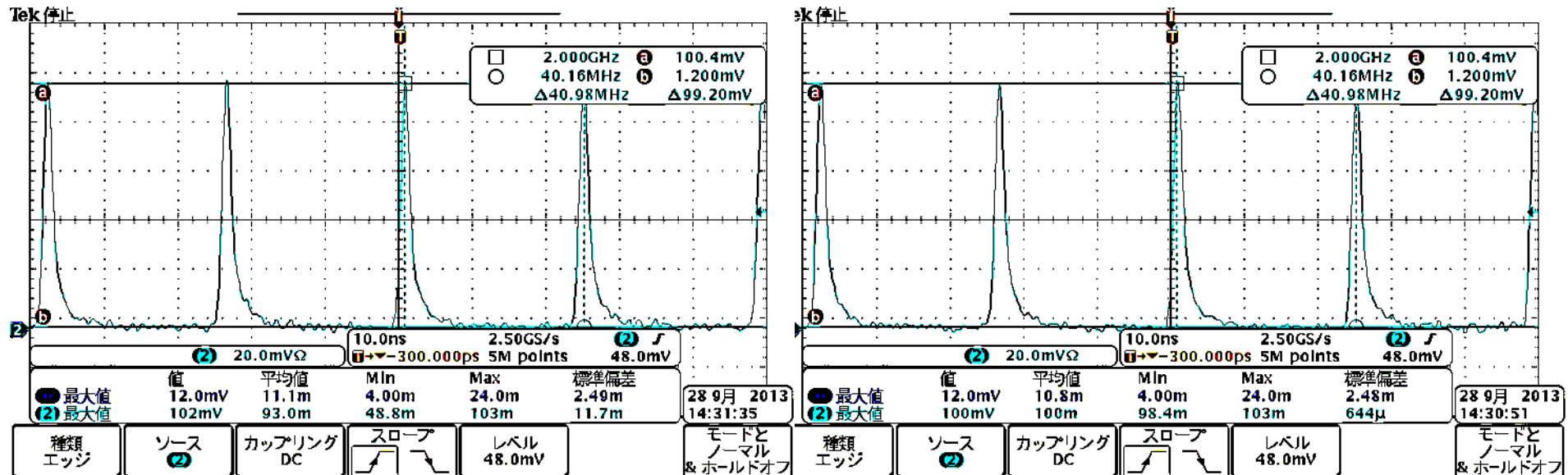
セルフスタート確認



セルフスタート発振の確認

ほぼ同じ波形なので、わかりにくいですが、ON/OFF/ONしてもまったく同じように発振することを確認

> 非常に使いやすい形となった

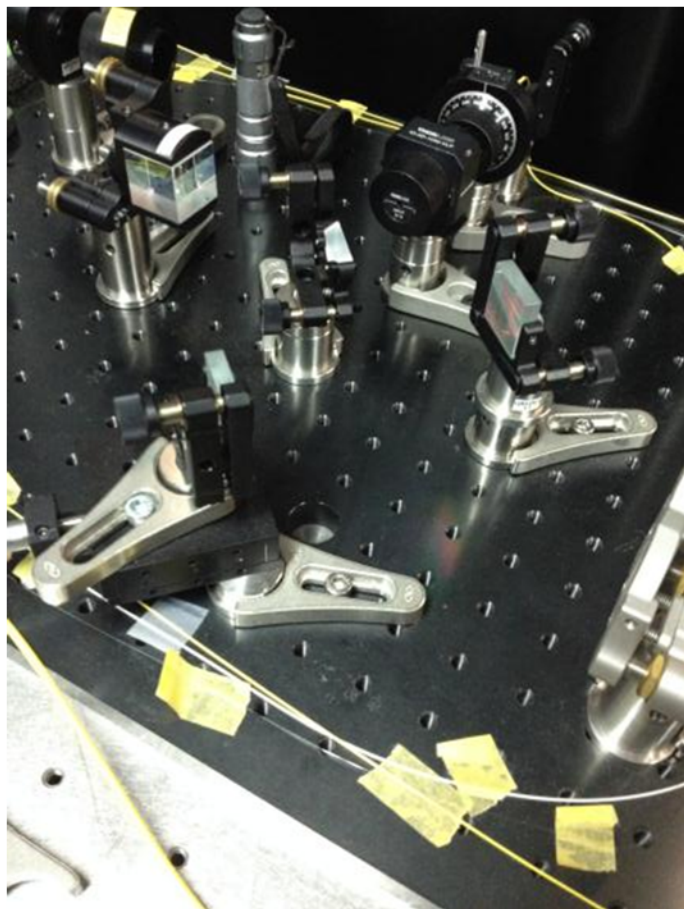


透過型Grating試験

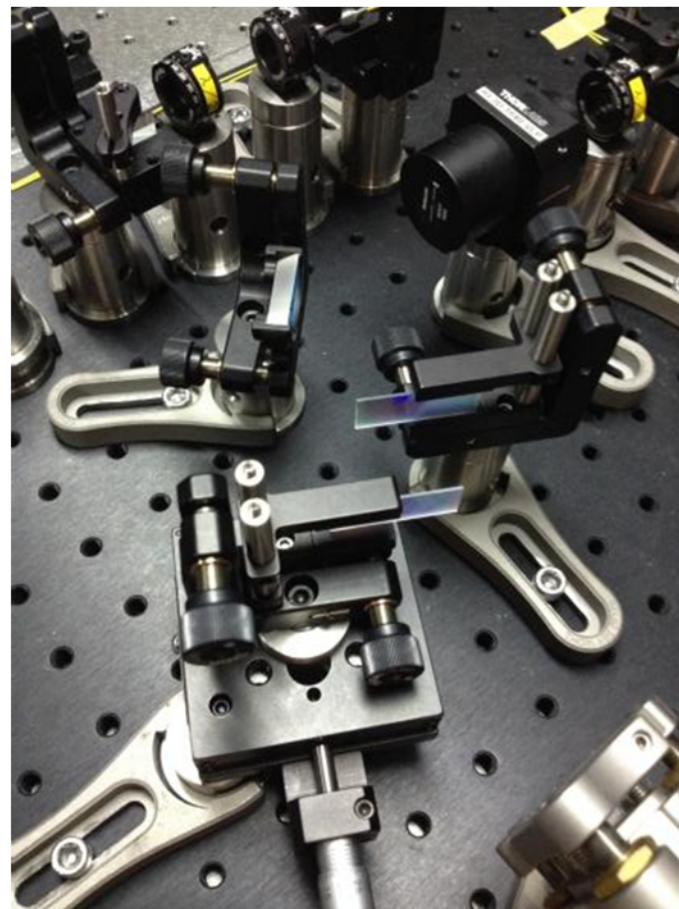


次なる発振器改良として、Transmission Gratingの試験を行っている

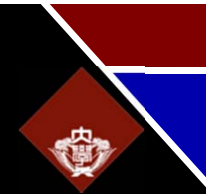
反射型



透過型



透過型Grating試験



透過型Gratingの方が回折効率が良い

> 周回するパワーも大きくなるため、モードロッキングしやすい

> ピーク強度で偏波回転が変わるため、ある程度の強度がないと発振しない

反射型Grating

66.2%回折効率 > 1周当たり 19.2%(4回回折する)

透過型Grating

94.4%回折効率 > 1周当たり 79.7%(4回回折する)

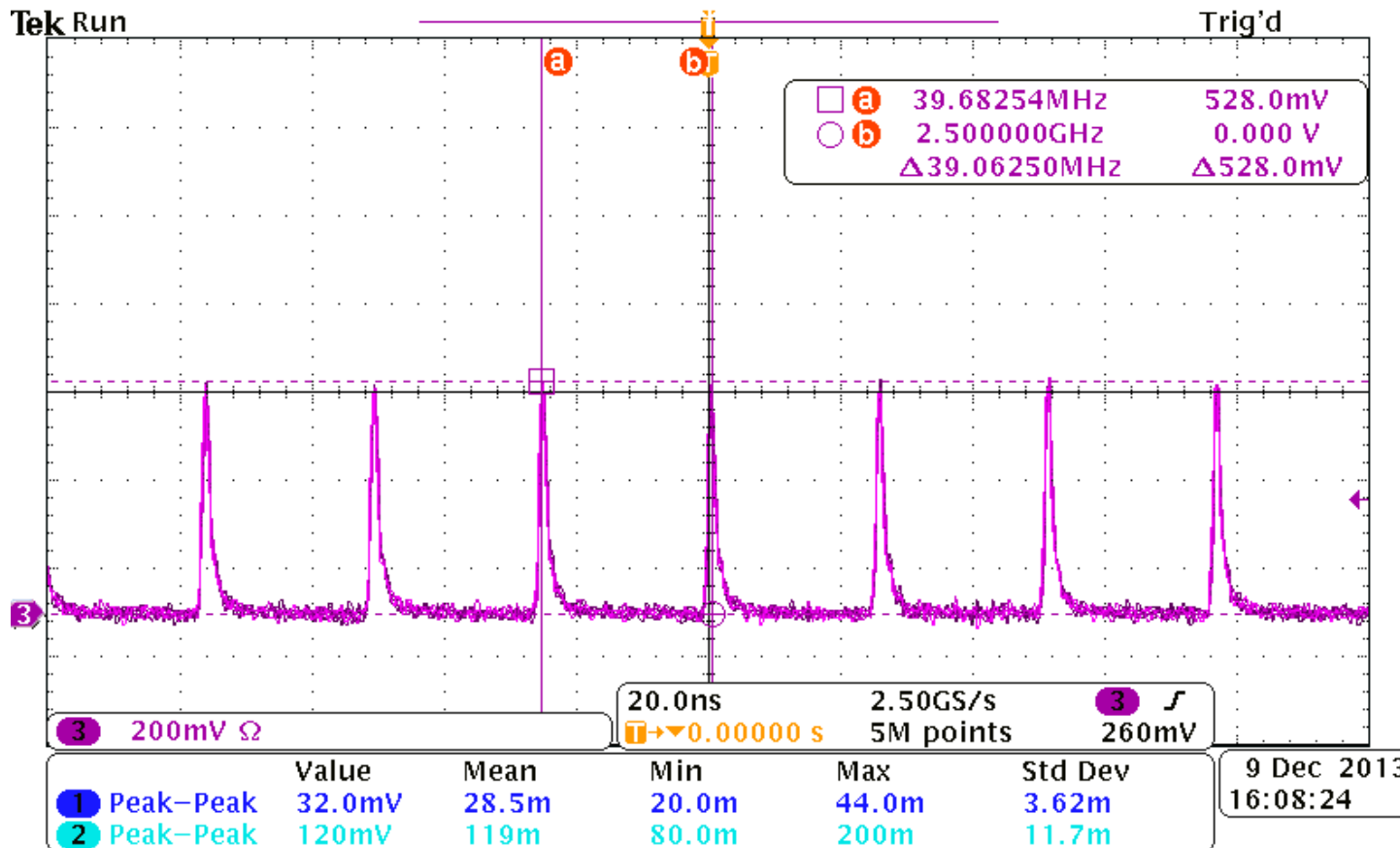
4倍ほどの強度が担保できる



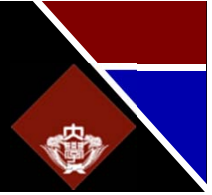
透過型Grating試験



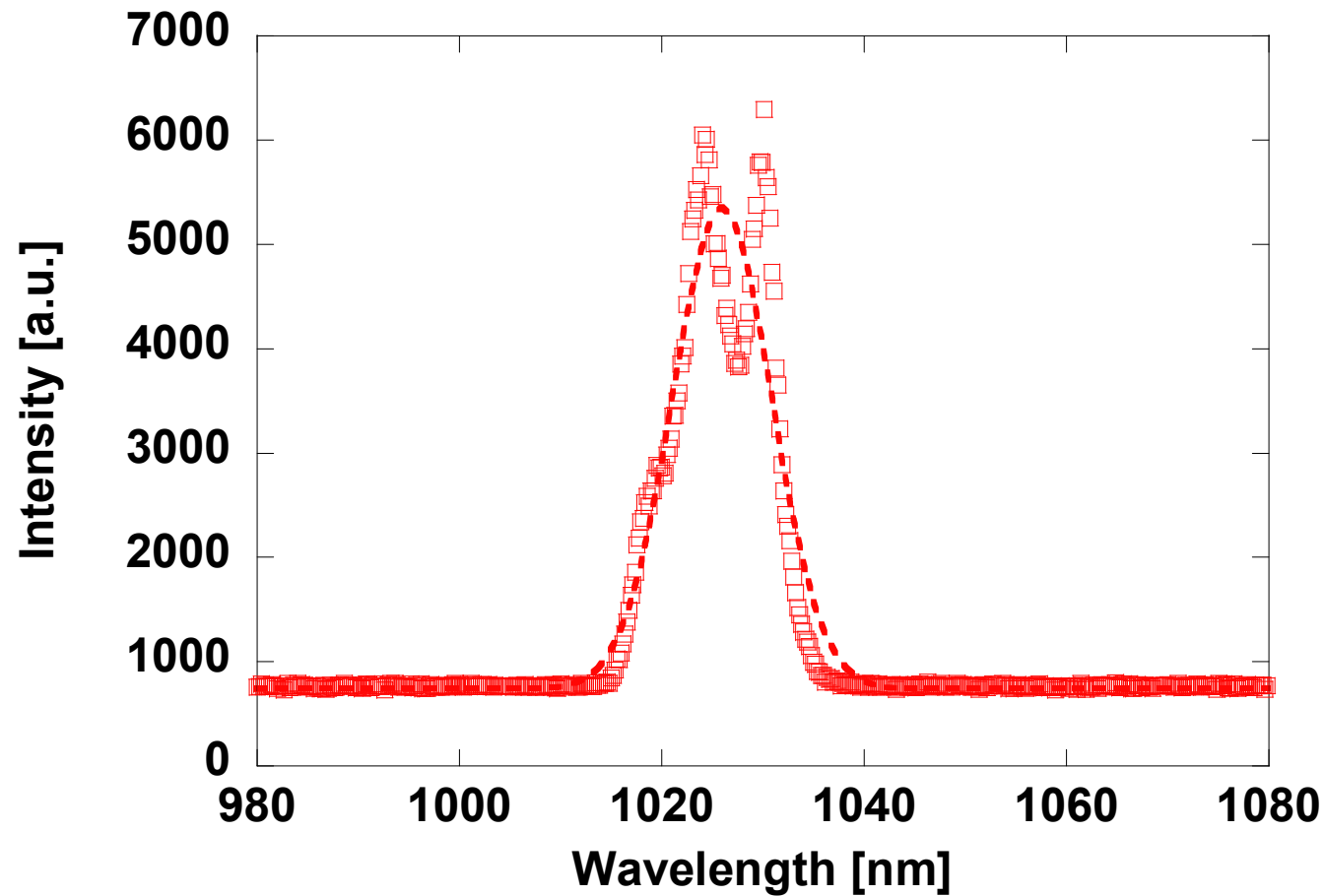
透過型Gratingでのパルス発振を確認
18mW出力



透過型Grating試験



線幅もほぼ同等となっている



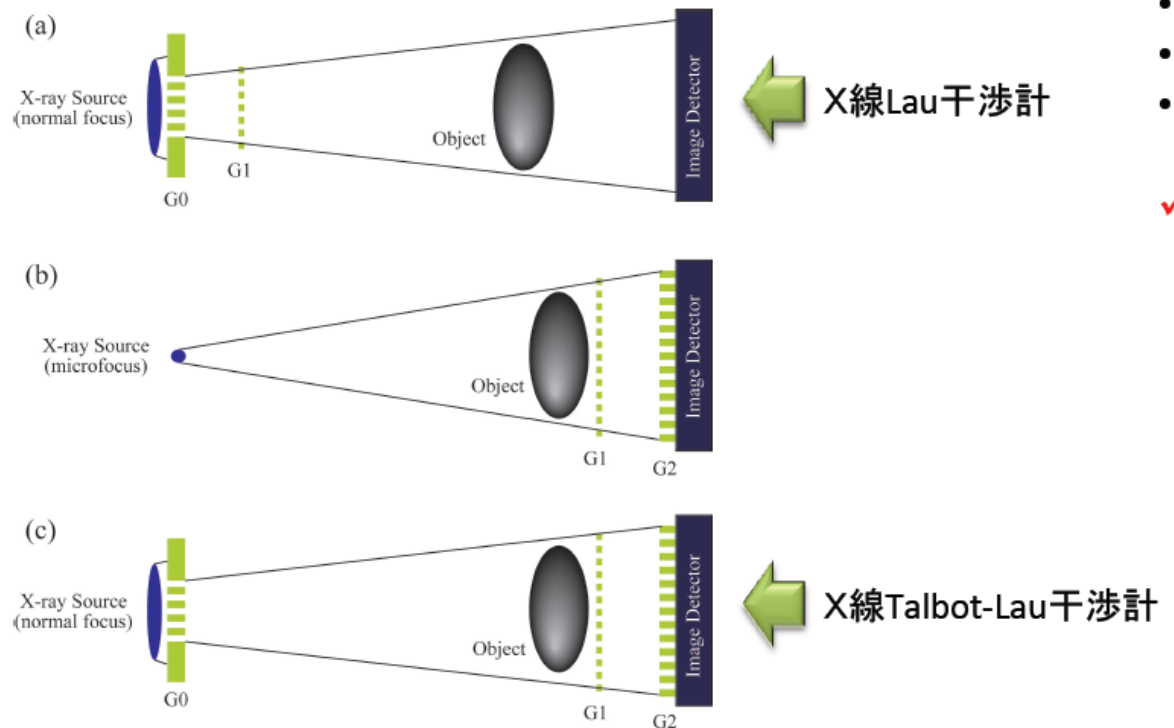
Striped LCS



LCSで位相イメージングを利用する際に新たな手法として百生先生より提案されているStriped LCSに関して、少し計算を試みた

前回ミーティングの百生先生発表資料より↓

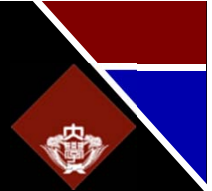
エネルギー・光子数など
に関して、どの程度の
利点・不利点があるか
を明らかにする



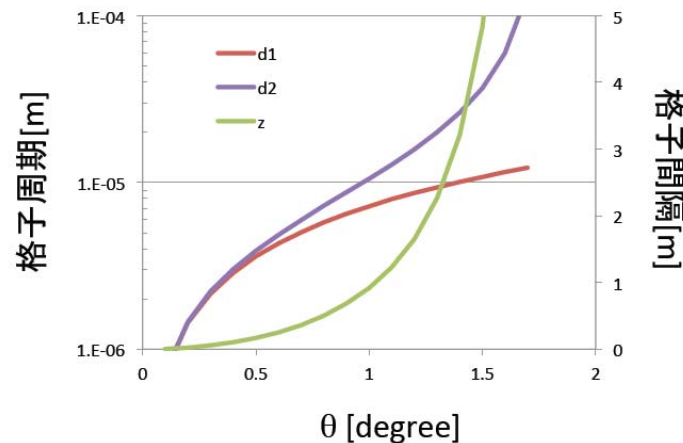
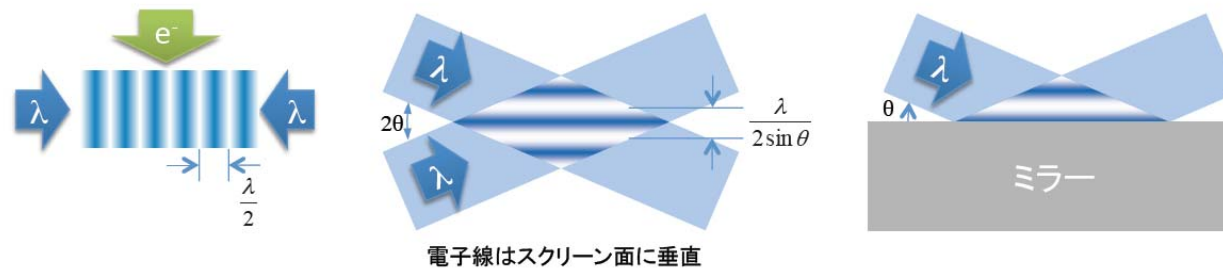
- G0を真空中に配置するのと同じ効果（光学系のコンパクト化）



Striped LCS



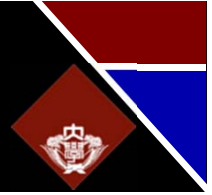
干渉縞を用いてStriped X-ray spotを作り出すため、必ず90度で衝突させる必要がある >90度衝突の際に良い解はあるか？
干渉縞間隔は10 μ m程度を想定 >10 μ mレーザーではどうか？



百生先生の資料より



Striped LCS



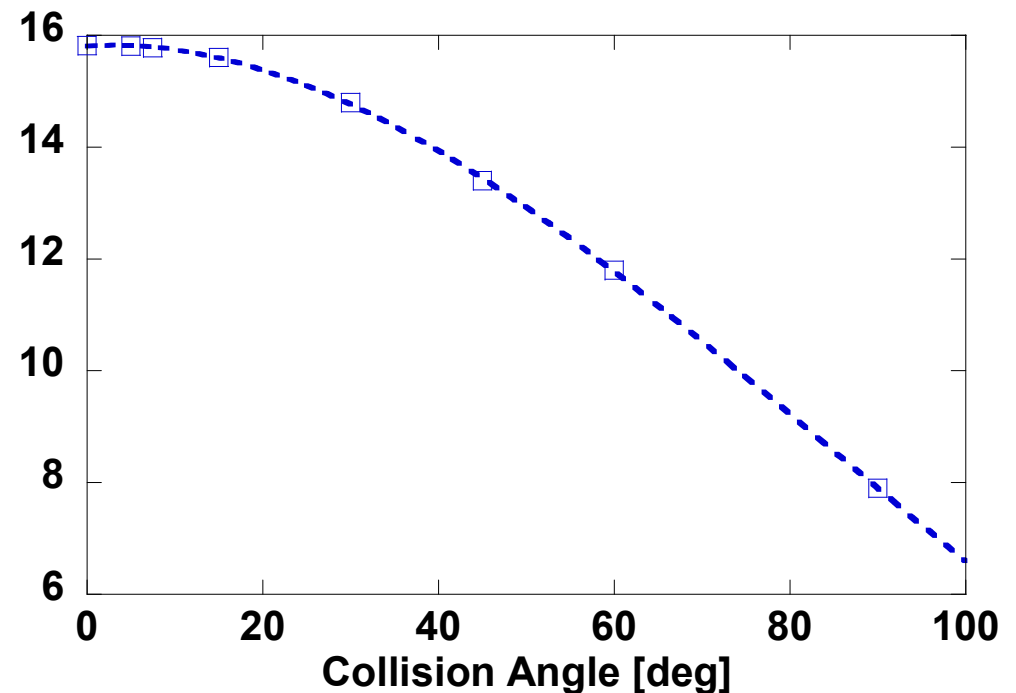
衝突角度の制限である90度衝突の際にエネルギーの変化は？

衝突角が変わるとエネルギーも変化する(ϕ が衝突角)

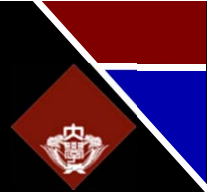
$$\lambda_p = \frac{\lambda_L (1 + K^2 / 2)}{2\gamma^2 (1 + \beta \cos \phi)}$$

30MeV/1 μ mレーザーで計算
ほぼ正面衝突の
15.8keVに対して
90度では
7.9keV (半分になる)

LCS X-ray Energy [keV]



Striped LCS



レーザー光の波長を10倍にすると...

10 μ m波長のレーザーを用いた場合
> X線の波長も10倍になる

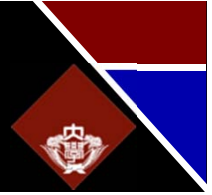
$$\lambda_p = \frac{\lambda_L (1 + K^2 / 2)}{2\gamma^2 (1 + \beta \cos \phi)}$$

同等のエネルギーのX線を得るためには電子ビームエネルギーを3.2倍にする必要がある。

90度衝突であることも含めると、
波長は20倍長くなり、4.5倍のエネルギーの電子が必要になる。
1 Åの波長の光を得るためには、120MeVの電子ビームが必要になる
> 小型でなくなる > 今回使用する予定のLUCX/cERLなどで対応できない

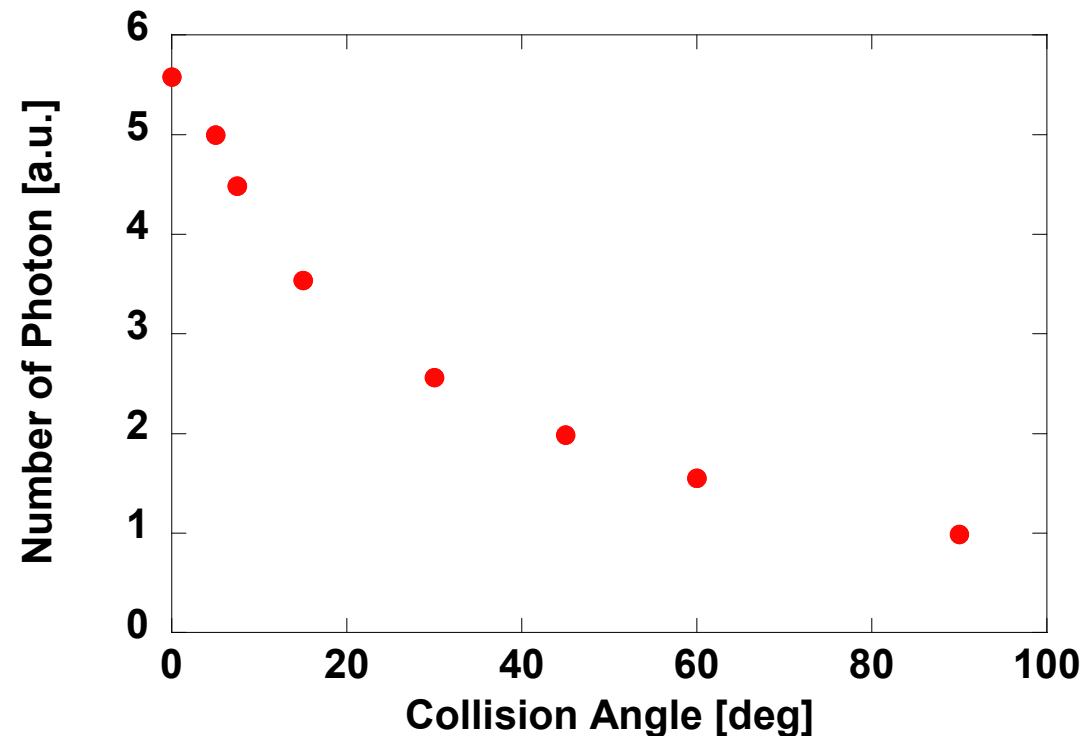


Striped LCS



解としては、やはり $1\mu\text{m}$ の波長のレーザーを使用することが求められる
37MeVの電子ビームを用いれば、90度衝突でも 1\AA の光が出る

Photon数に関して計算してみる (パラメータは次ページ)
もっとも効率の良い正面衝突に対して
1/5.6程度の光子数になる



Striped LCS



計算に用いたパラメータ

電子ビーム

Energy	Size	Bunch Length	Emittance	Energy Spread
30MeV	50 μ m/50 μ m	10ps	5 π mmrad	1%

レーザー光

Wavelength	Size	Pulse Duration
1064nm	50 μ m/50 μ m	7ps

バンチ長・パルス幅が数ps程度(2mm~3mm)と長くなっている
>どちらも圧縮することで、Gainが考えられる



Striped LCS

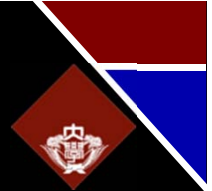


パルス幅とバンチ長をサーベイして、良いところを探してみる
それぞれFWHMの値を表記

Bunch Length [ps]	Pulse Duration [ps]	Num. Photon [a.u.]
10	7	0.99
10	5	1.04
10	2	1.08
10	1	1.08
5	1	2.16
2	1	5.01
1	1	8.25
0.5	1	10.1
1	0.5	9.17
0.5	0.5	13.4
0.5	0.2	14.4
0.5	0.1	14.6
0.2	0.2	16.1
0.2	0.1	18.3



Striped LCS



傾向として、どちらも圧縮することで、効率的に生成できる

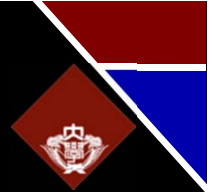
Bunch Length [ps]	Pulse Duration [ps]	Num. Photon [a.u.]
10	7	0.99
1	1	8.25
0.5	0.5	13.4
0.5	0.2	14.4
0.5	0.2	19.61
0.2	0.2	16.1

7.5度衝突で同じパラメータで計算した結果
3次元的に集束することで、
ほぼ一致する程度にできる

cERLのビーム、パルス幅の短いレーザーを組み合わせれば
効率的にStriped LCSは実現できそう
Gratingも1枚減るので、ここでも約2倍得することになる



まとめと今後の計画



レーザー開発としては、
様々な改良を加えながら、少しずつ使えそうなレーザー発振器になりつつある
Transmission Grating / SESAMによりかなり使い勝手の良いものとなった

今後、
周長の制御機構、発振パルス周波数の調整等を行っていく

Striped LCSに関しては、
Comptonの計算を試してみたところでは、90度衝突でもパルス/バンチを圧縮することによってそこまでのロスはない。

> 少しエネルギーは低いがcERLでの試験は現実的に思う

> 干渉縞間隔等も含めた干渉縞共振器等を検討してみる価値はあるのでは？

