

光・量子融合連携研究開発プログラムでcERLにて行う研究開発に関する報告。

加速器研究機構 浦川順治 2013.10.24

- ◆ 「光・量子融合連携研究開発プログラム」の英語名称は Photon and Quantum Basic Research Coordinated Development Program
 - ◆ 小型高輝度X線源イメージング基盤技術開発
- ◆ Fundamental Technology Development for High Brightness X-ray Source and the Imaging by Compact Accelerator

<http://kocbeam.kek.jp/> from 2008.9 to 2013.3



文部科学省委託事業

<http://nkocbeam.kek.jp/> from 2013.8



Application of advanced laser and accelerator technology for our life.

概要

電子ビーム(200~600MeV)による逆コンプトン散乱(ICS)。

サブMeVから~7MeV範囲のTunable高輝度ガンマ線生成技術開発。

この為に波長 $1\mu\text{m}$ のパルスレーザー蓄積共振器開発。

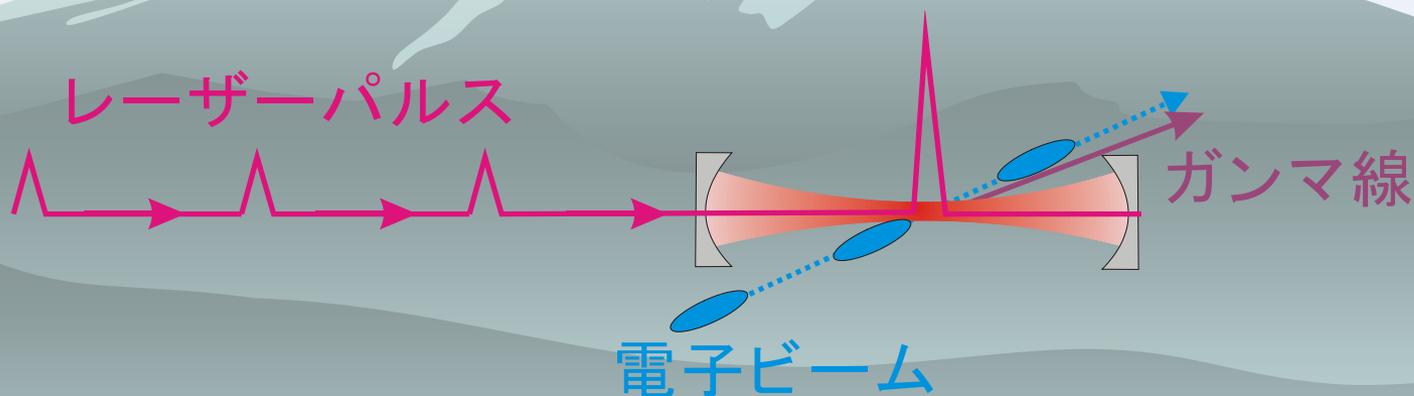
目標はMW級平均パワーと安定な $20\mu\text{m}(\sigma)$ waist sizeを光共振器内に安定に実現することである。

レーザー蓄積装置開発の詳細い報告:

「次世代レーザーコンプトン散乱ガンマ線とその応用」

(ISSN 1342-3185, IAE-RR-2013 No.101, pp.128-141)

本講演: 開発状況と問題点、今後の開発計画。

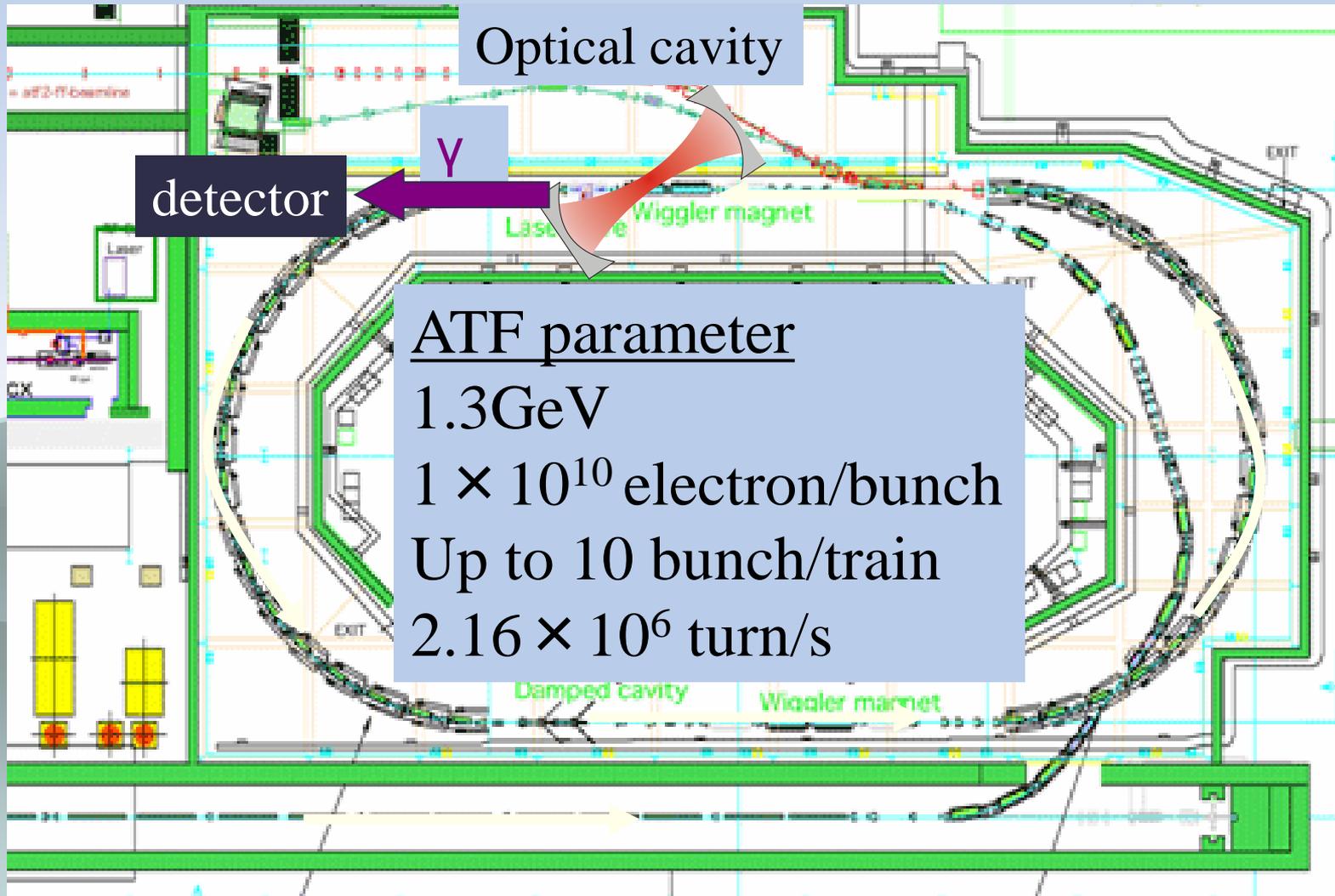


ATF Damping Ring: 1.3GeV, $10\mu\text{m}$ Electron beam

10W mode-lock laser Oscillator, 357MHz- \rightarrow av.24MeV γ generation

γ -ray generation based on ICS with 3D Optical Cavities

Experiments at the KEK ATF



4 mirror cavities are at the ATF

KEK-Hiroshima
installed 2011

relatively simple control system
employs new feed back scheme

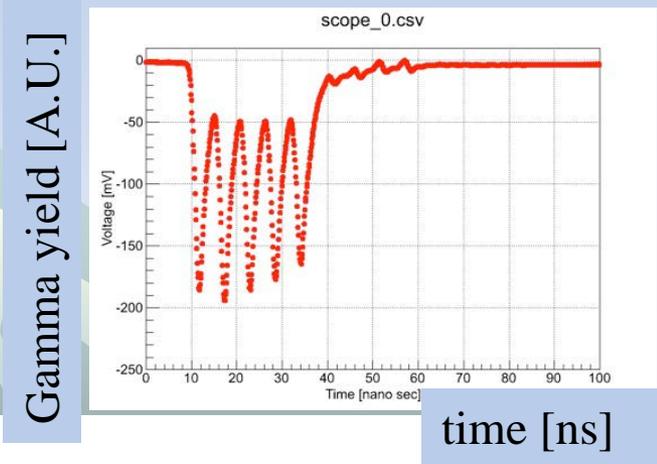
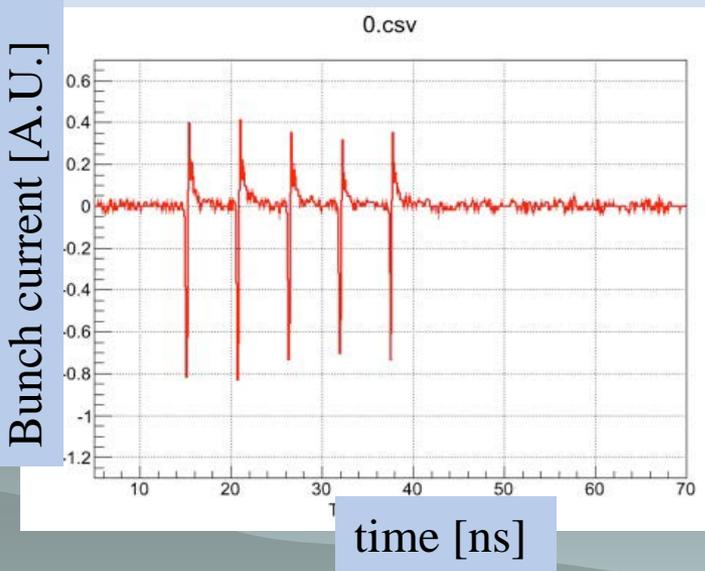
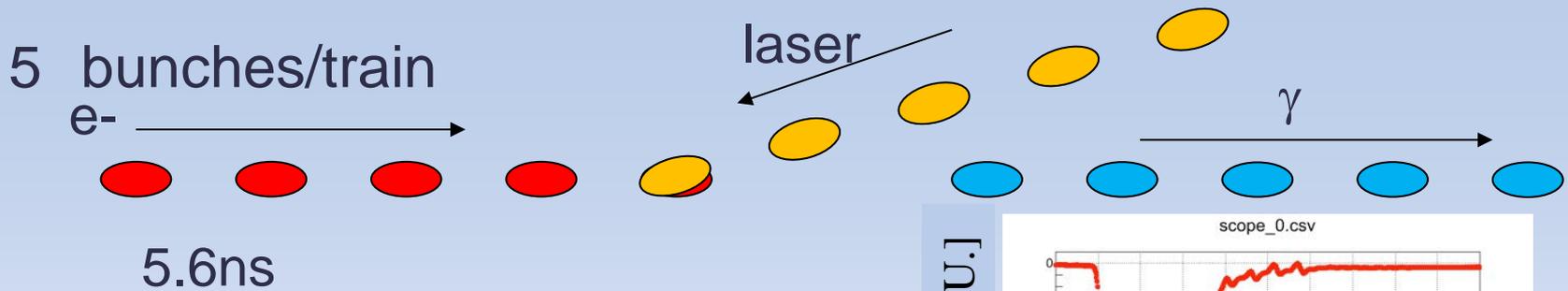
LAL-Orsay
installed summer 2010

sophisticated control
digital PDH feedback



2013年、再インストール及びレーザー再調整によって、peak 101kW蓄積及び100% 近いCoupling確認。現在、ATFでlock時39kW蓄積。コンプトンガンマ生成12月から開始予定。

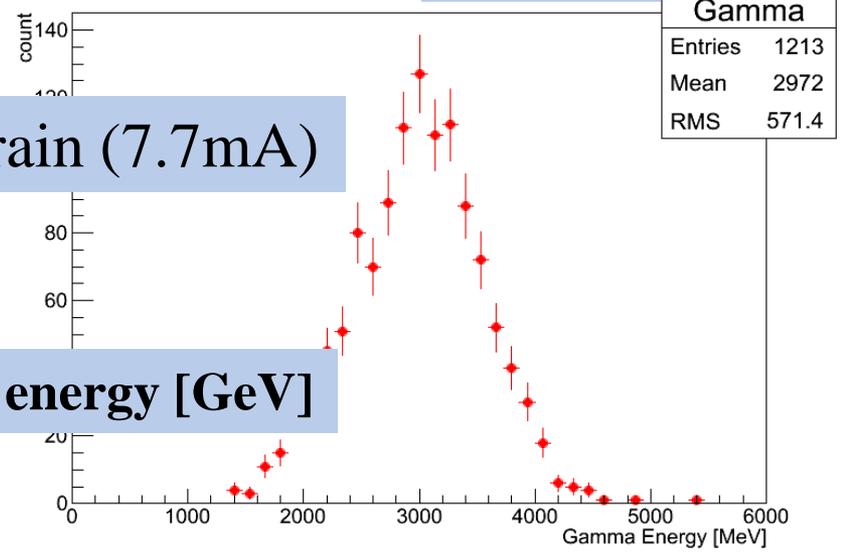
γ -ray Generation



5 bunch/train (7.7mA)

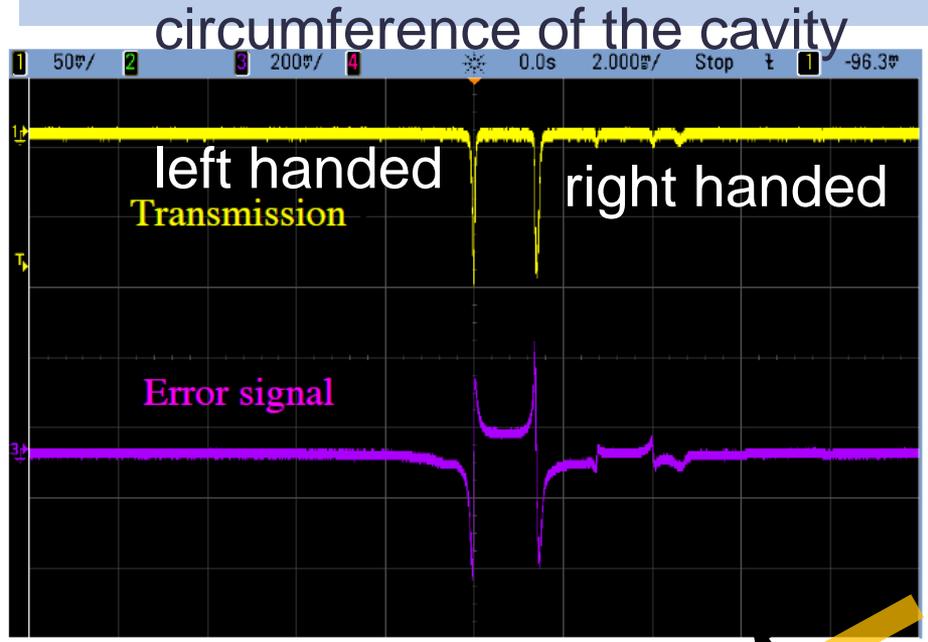
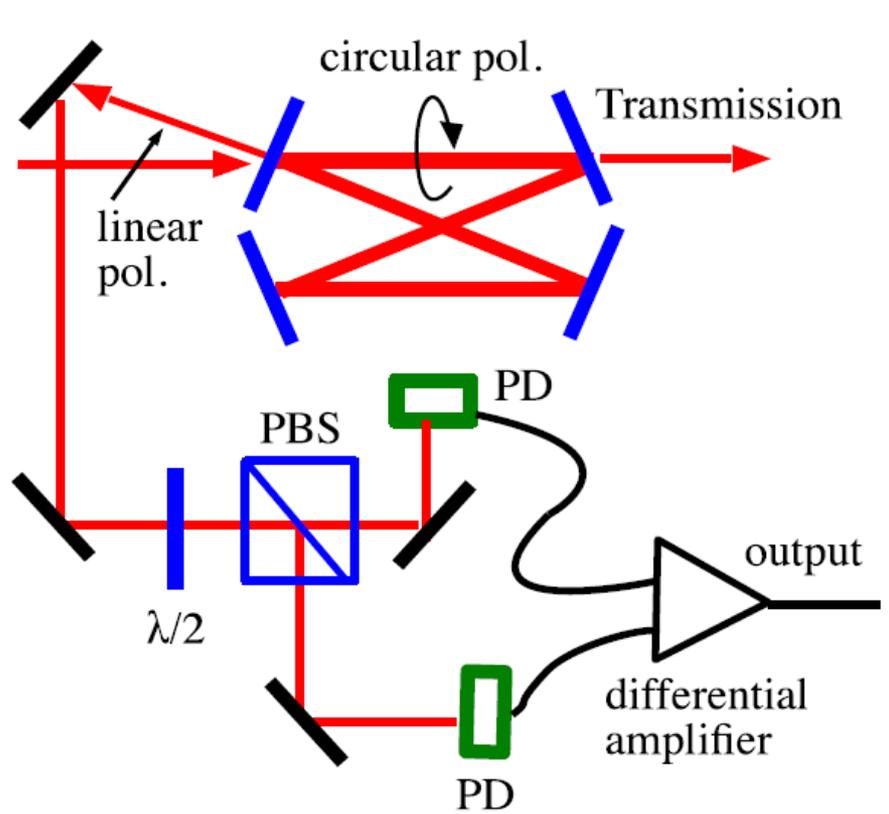
2970 ± 20 MeV
 $\Rightarrow \sim 120 \mu\text{s} / \text{train}$
 ATF 2.16MHz
 $\sim 2.6 \times 10^8 / \text{sec}$

Gamma energy [GeV]

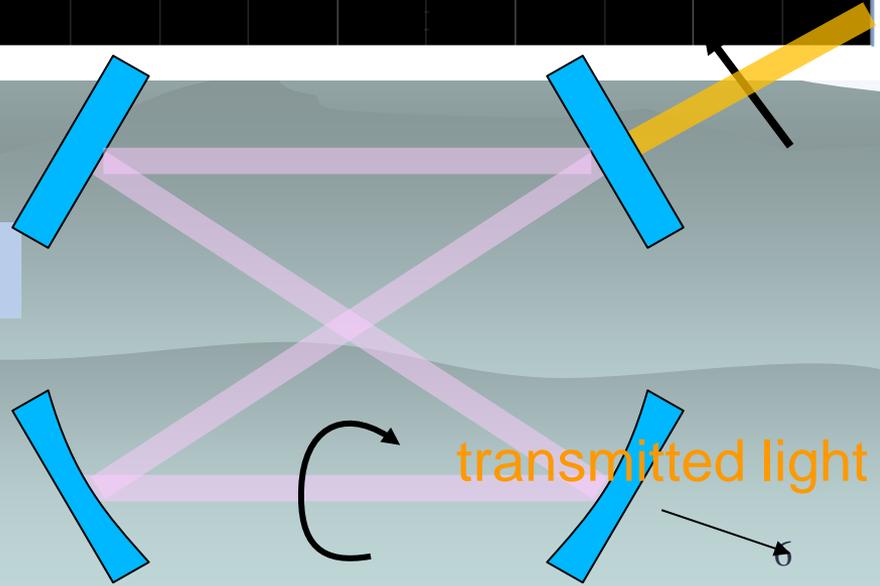


光共振器の共鳴制御

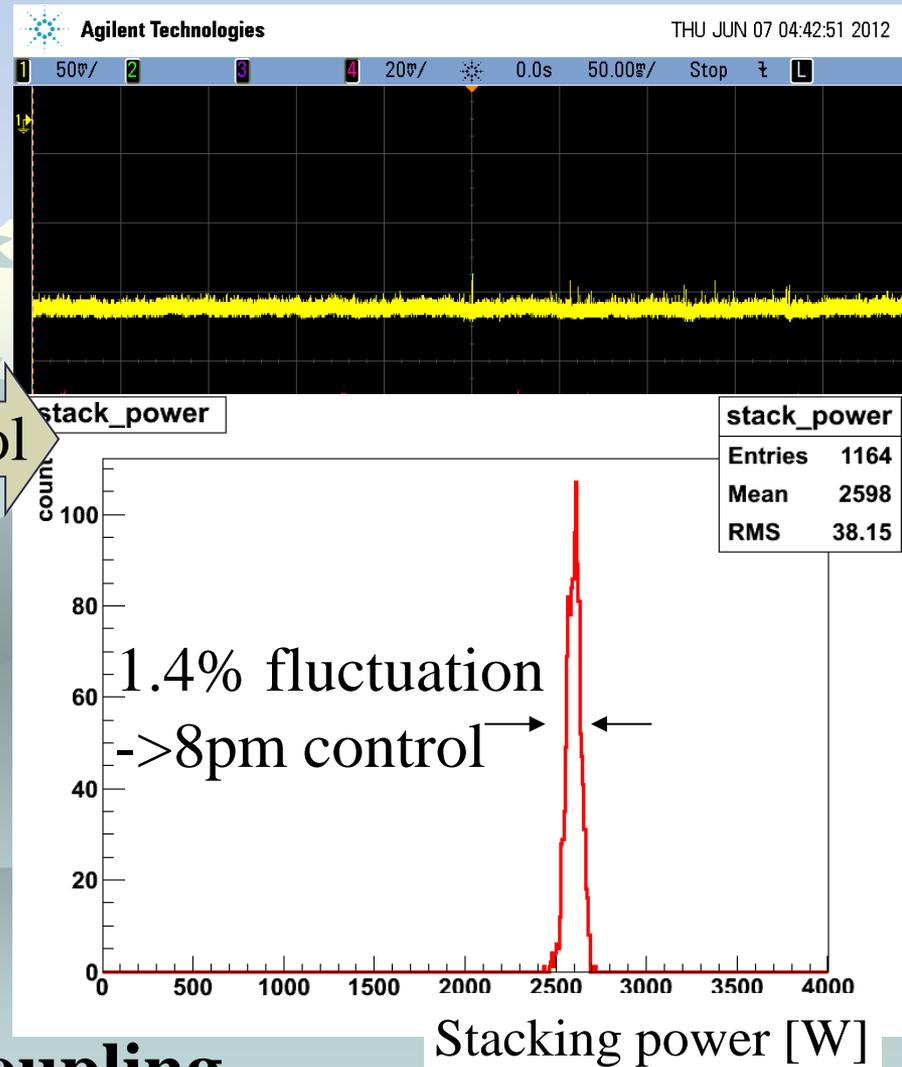
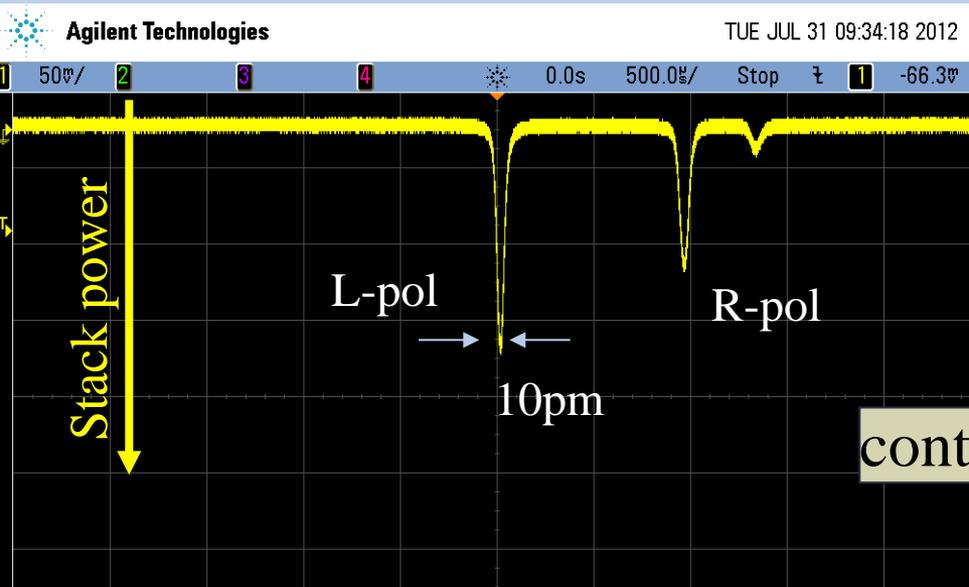
3D-4M Cavityの偏極特性を利用した制御



Different slope in left and right pol.



Cavity control



Laser power = 2.6kW

Timing jitter = 8ps

Enhancement 1230

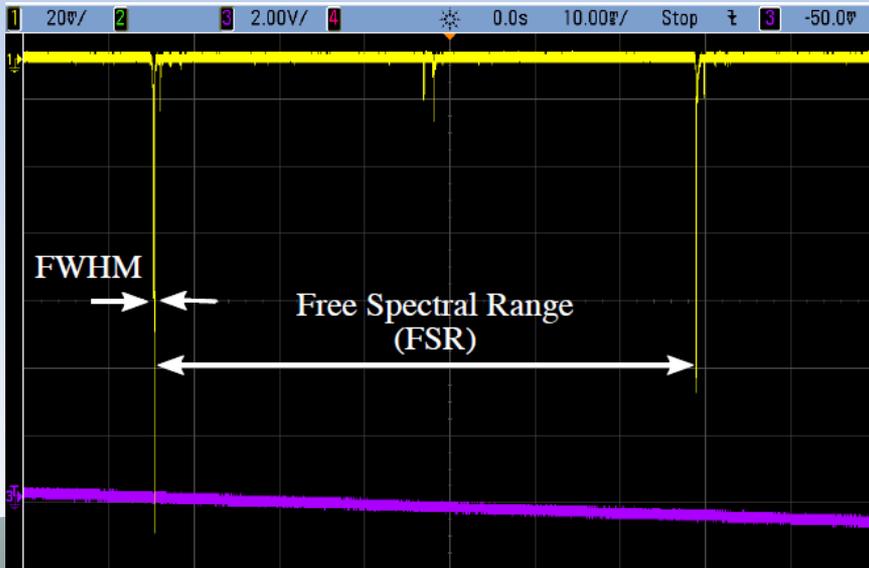
due to mirror

contamination and injection coupling.

最近の開発状況と問題点

Finesse measurement

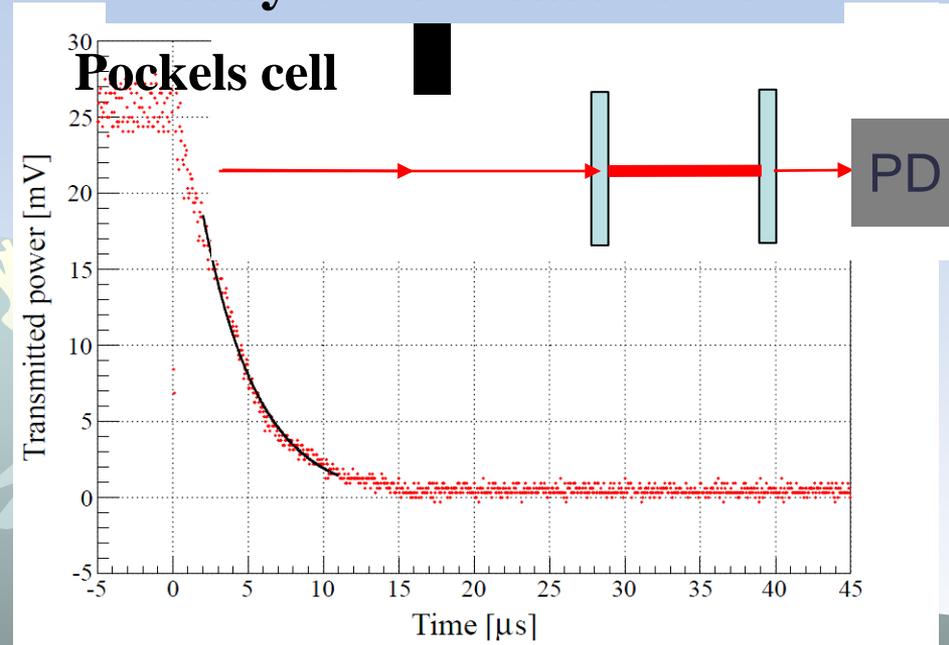
Airy Function



Airy Function

$$\text{Finesse: FWHM / FSR} \\ = 4040 \pm 420$$

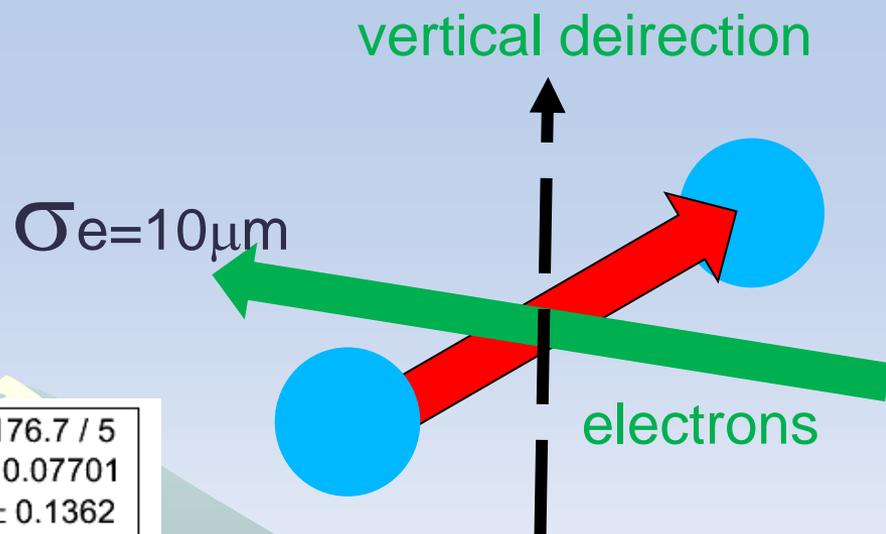
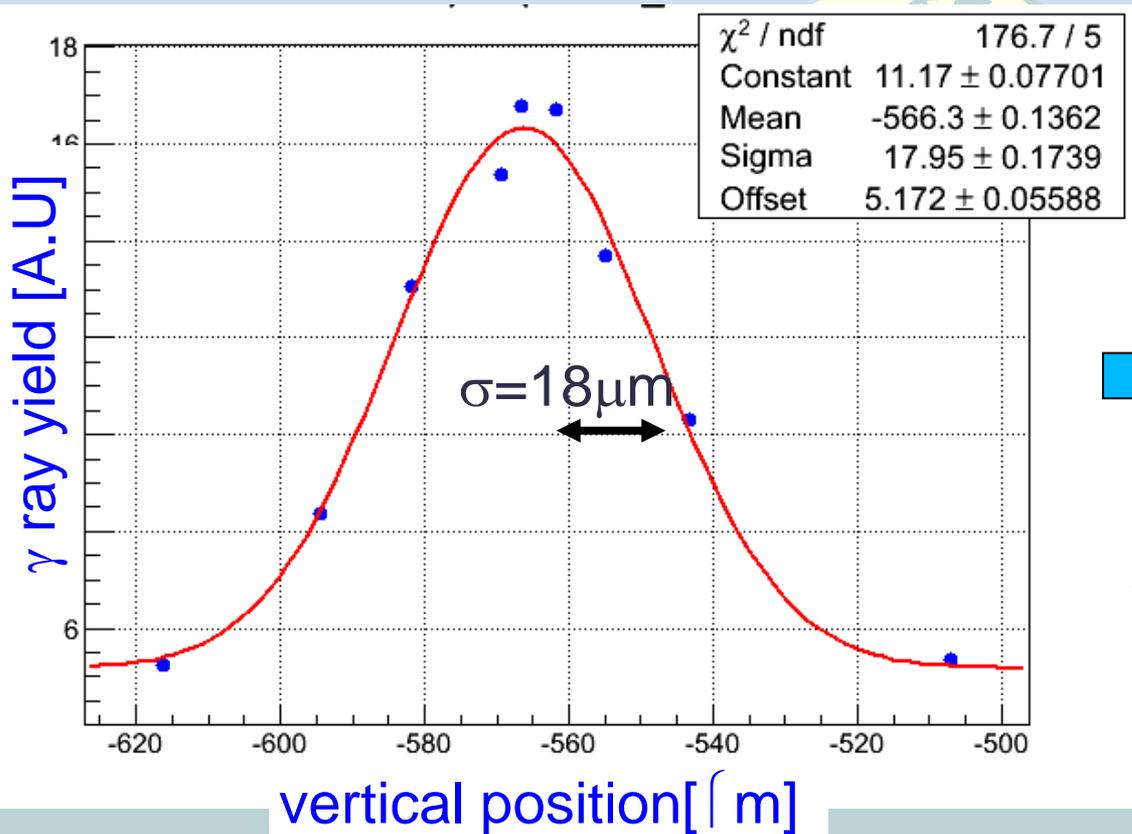
Decay time measurement



Life time of the laser light

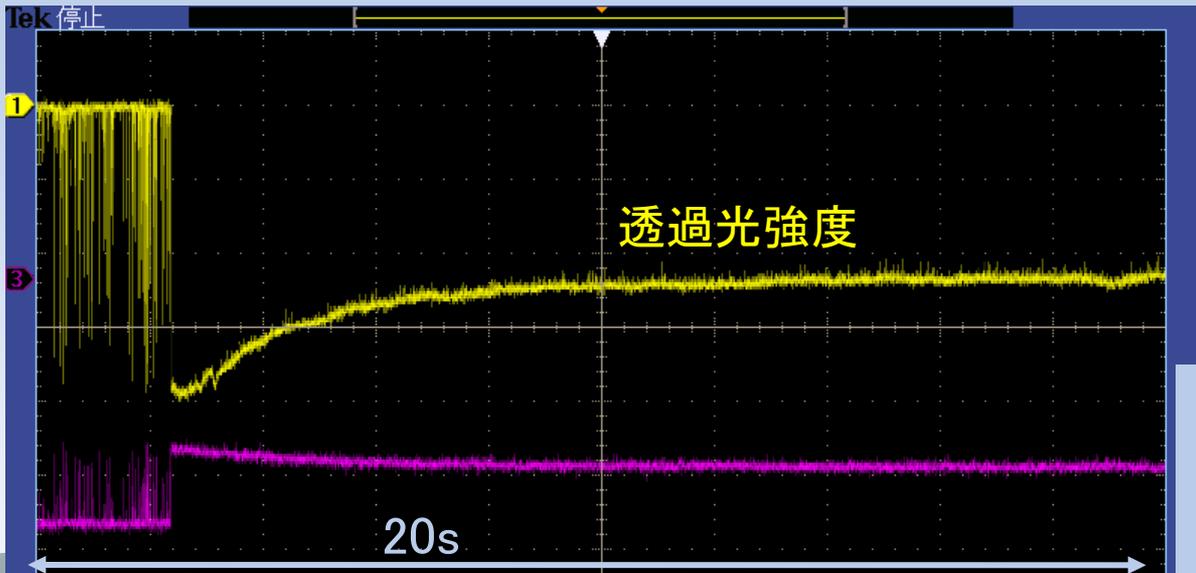
$$2\pi cT / L \\ = 4040 \pm 110$$

Laser spot size 13 μm achieved

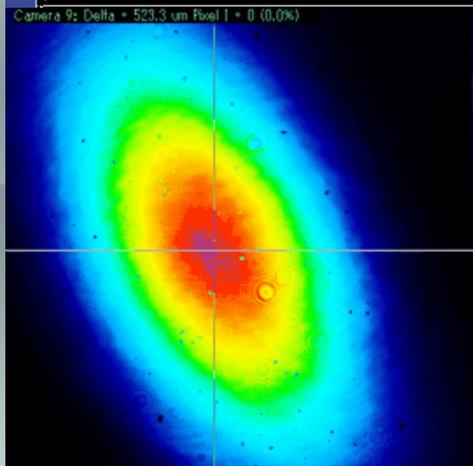


30 μm w/ 2 M cavity

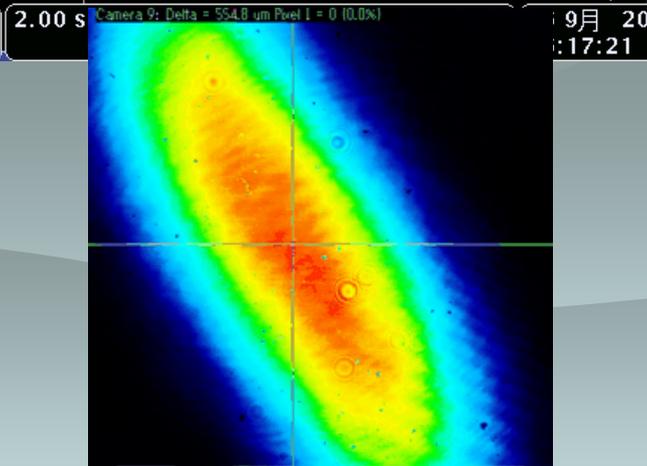
ミラーの熱変形



蓄積光の一部が鏡に熱吸収され、鏡の曲率が変化？
→共振器への入射すべきレーザープロファイルが変化
→入射効率の低下



蓄積開始直後

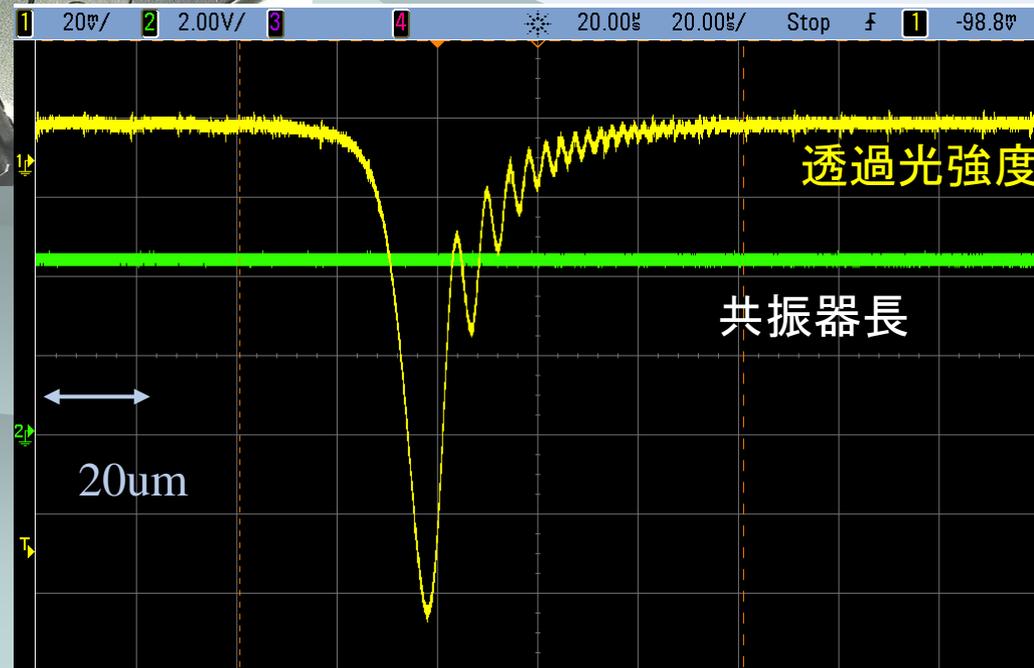
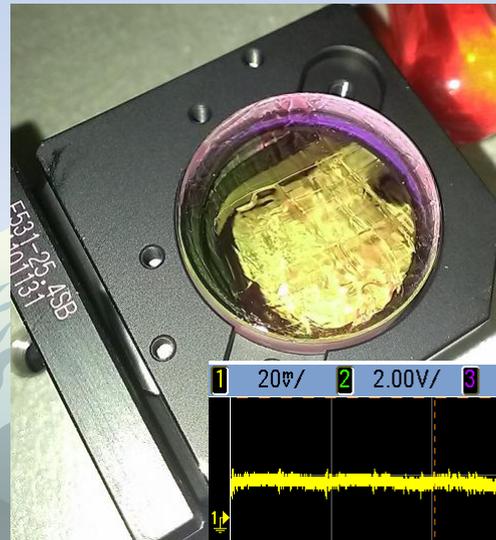


強度安定後

低損失の鏡が不可欠

鏡のマイクロダスト除去

鏡表面をマイクロダスト除去することによる損失の低下の確認試験



$\tau = 1.02 \times 10^{-5} \pm 1.34 \times 10^{-7} [\text{s}]$
 $\Rightarrow R = 0.999866 \pm 2.62 \times 10^{-6}$
 \Rightarrow 損失 = 30ppm
損失の改善に成功

今後の開発方針およびスケジュール

Study Plan

クリーン環境は簡易的なものだができつつある

> Particle数は荒木さんが計測済み

手袋

マスク

帽子

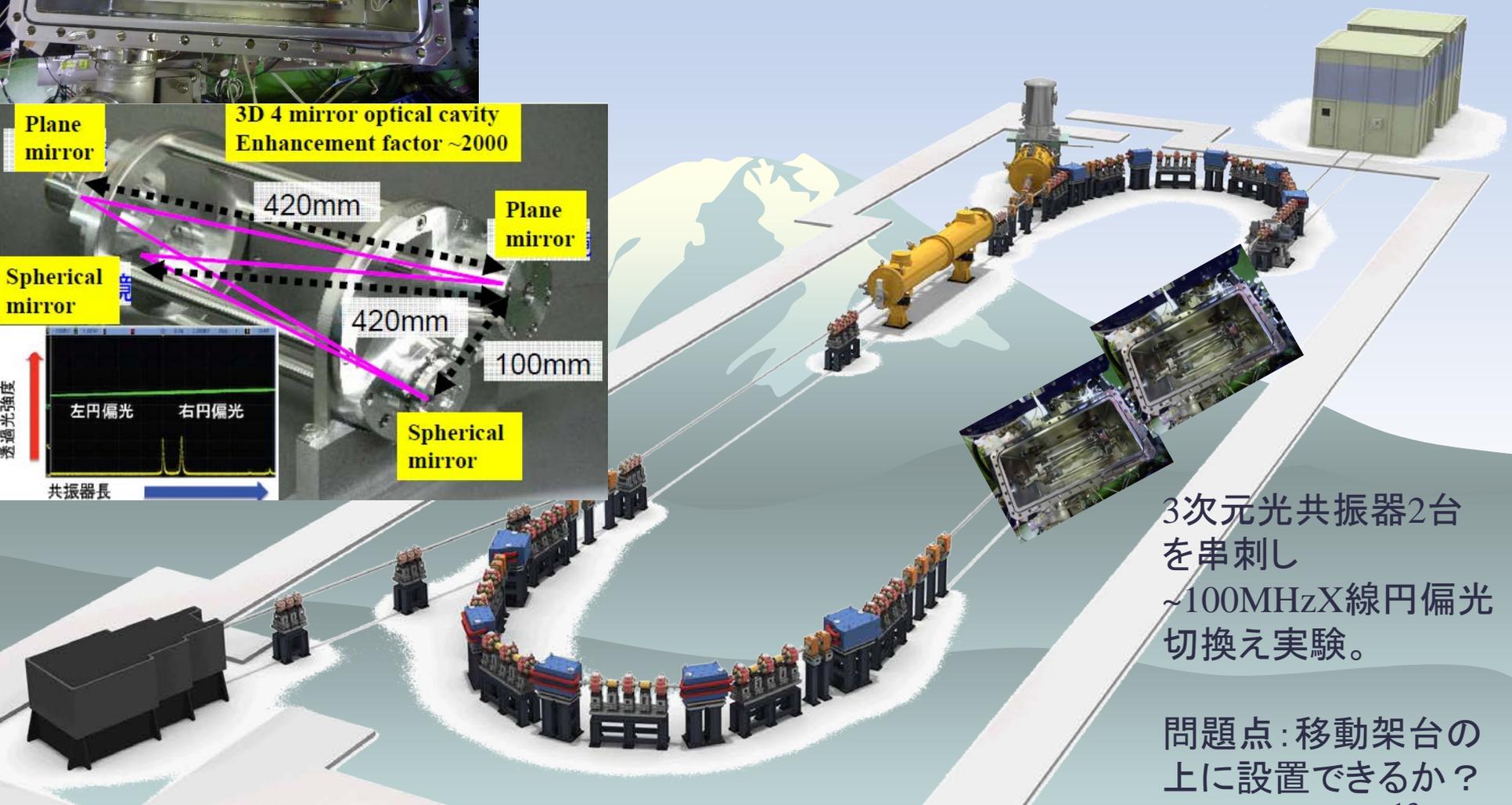
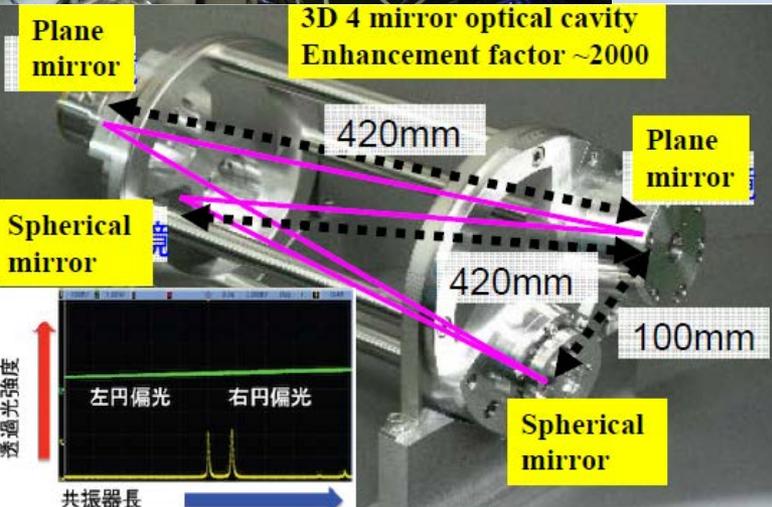
服

等も準備

マイクロダスト
除去用イオン銃
の利用

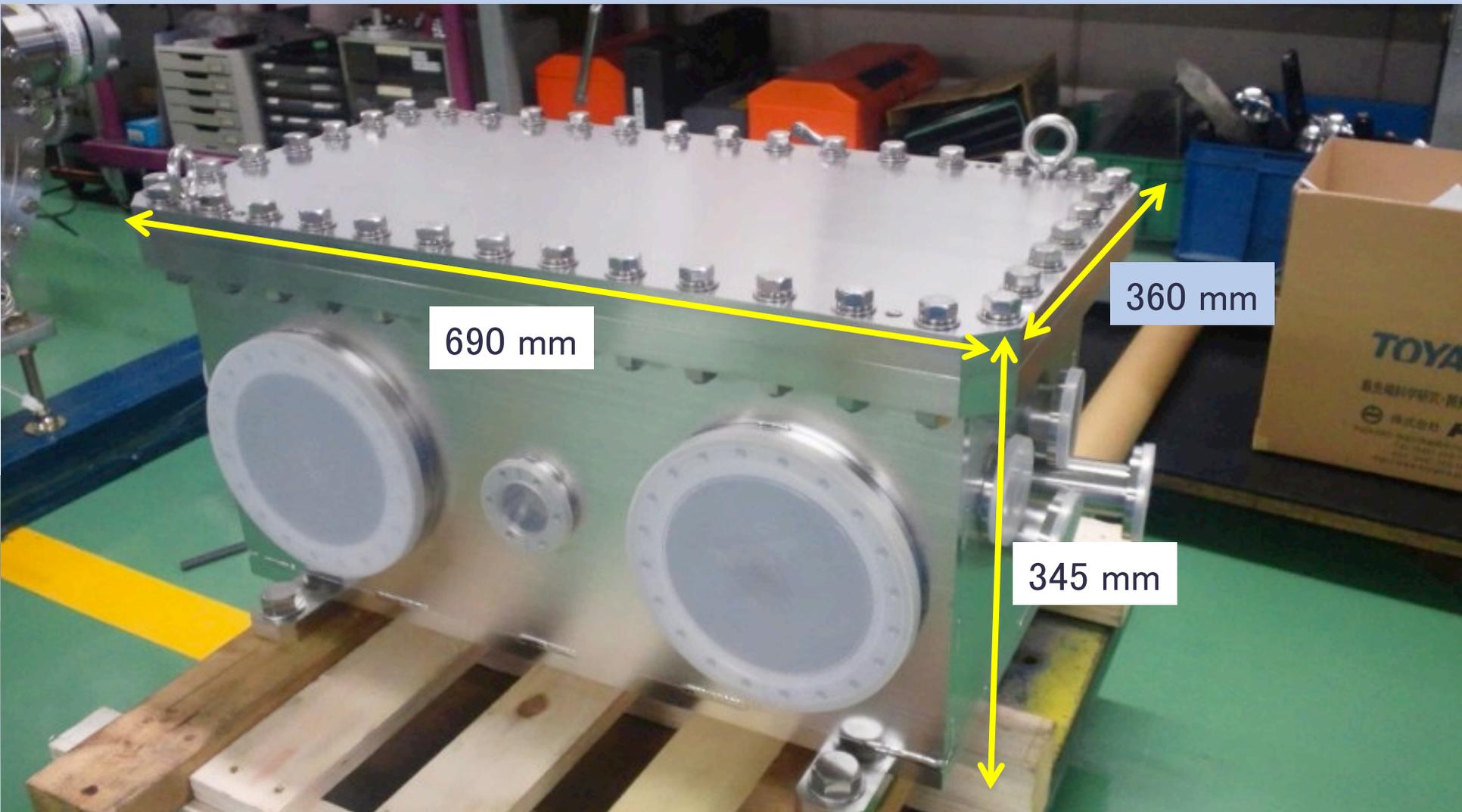
真空引きや大気
解放時、バルブを
使ってslowに行う。

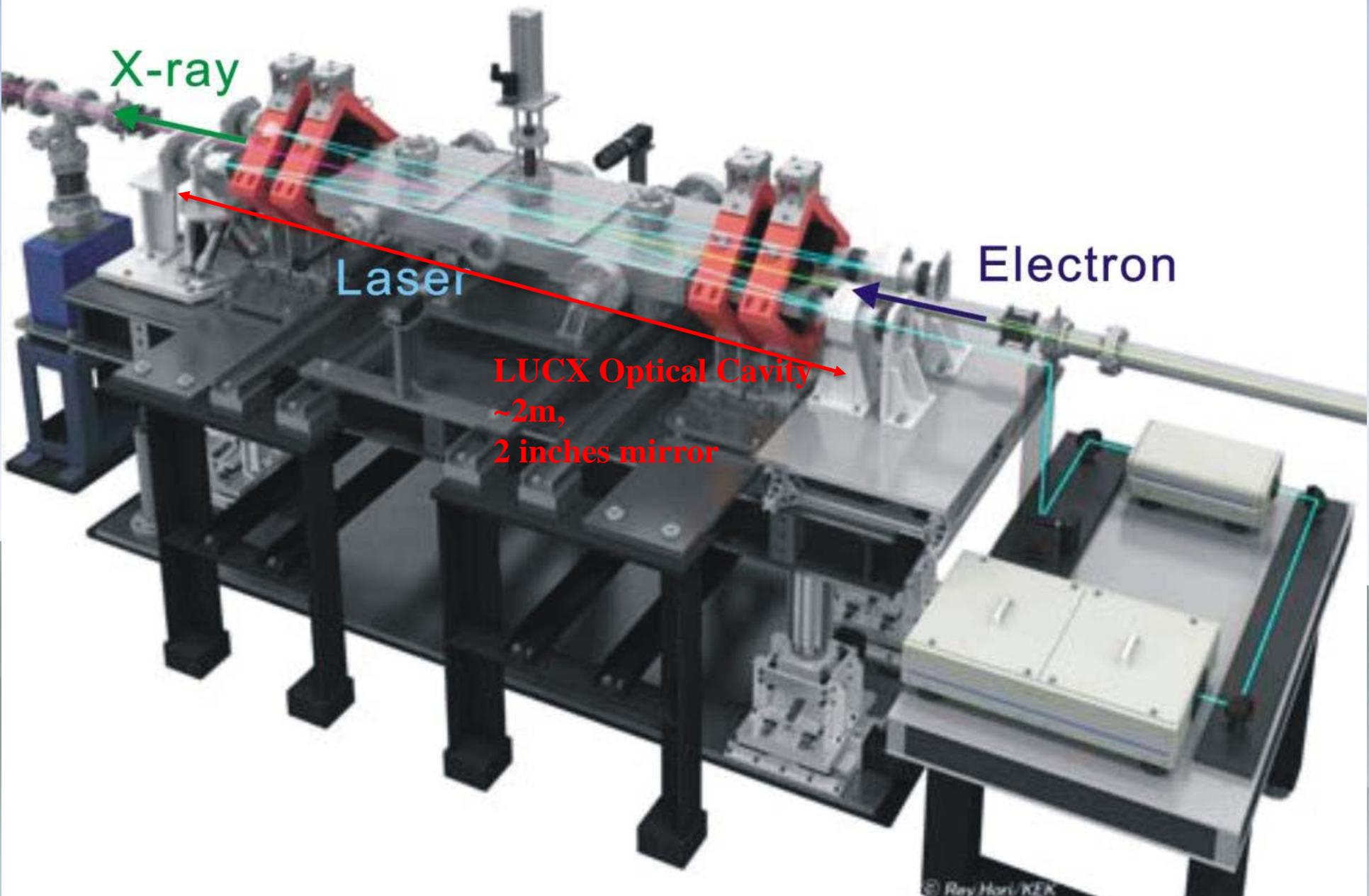




3次元光共振器2台を串刺し
 ~100MHzX線円偏光切換え実験。

問題点: 移動架台の上に設置できるか?





LUCXタイプの4枚ミラー光共振器

衝突角14度
2 inches mirror 4枚使用

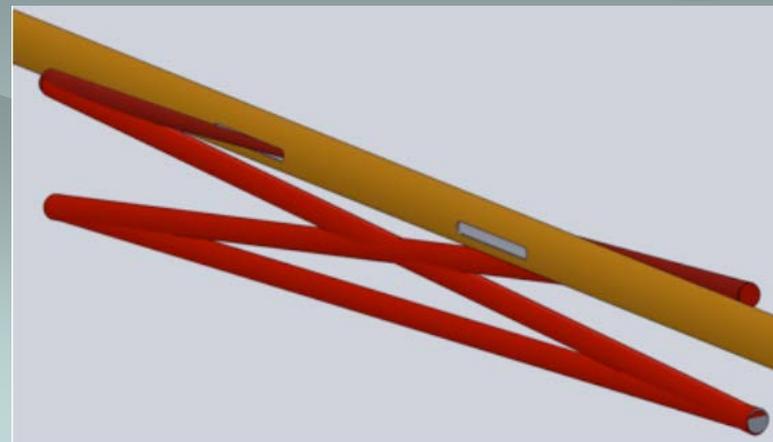
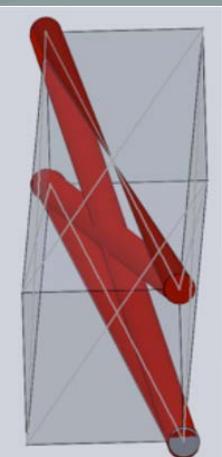
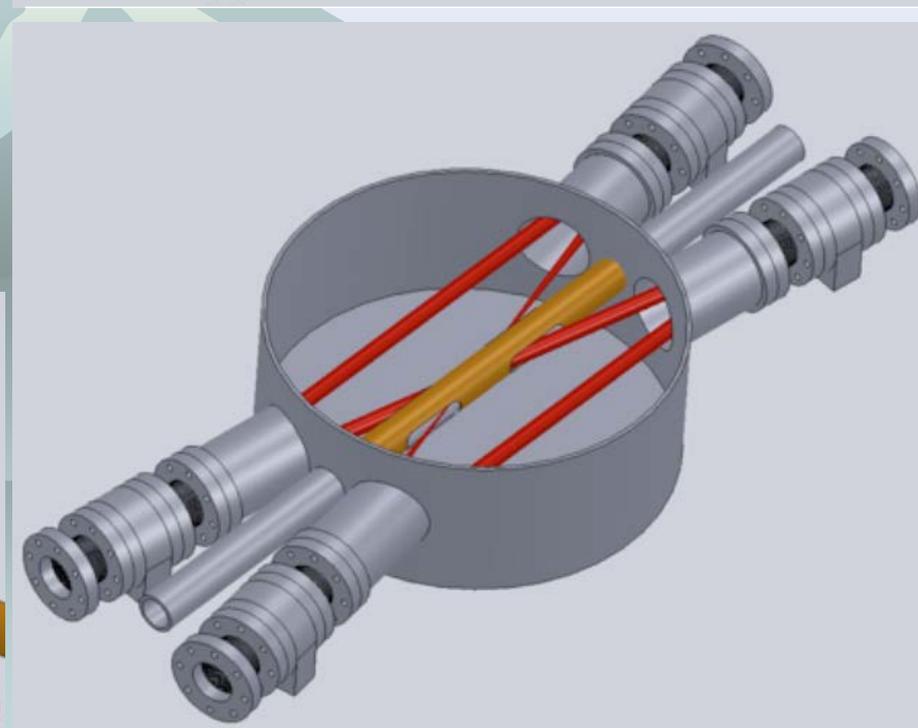
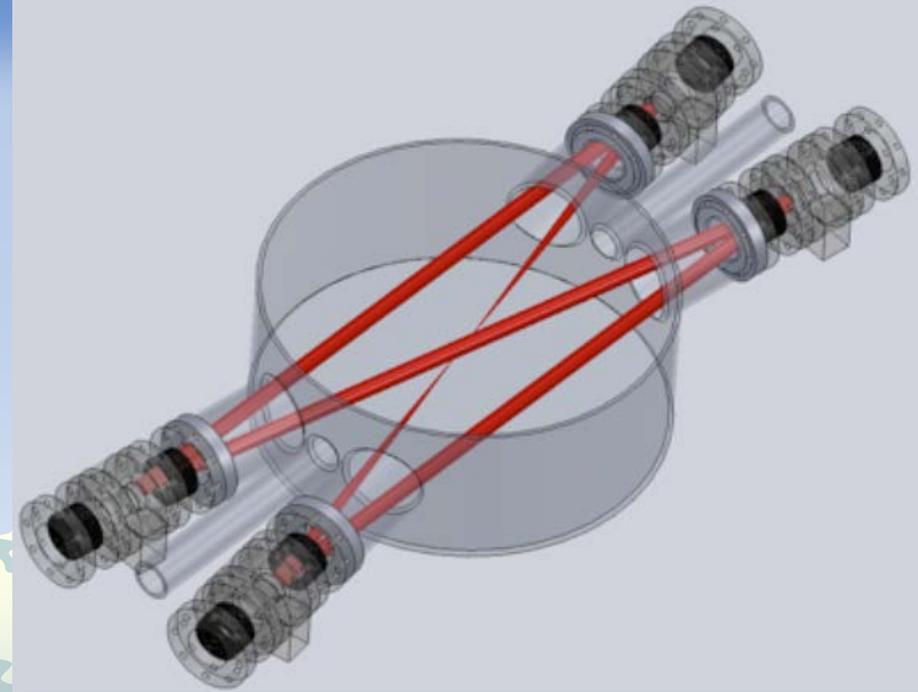
ダブルベローズ方式、ヘキサポットムーバーで真空外からサポートして6軸で動かす。レーザー光路で収束する光路と収束させない光路がビームダクトと交差するので、ビームダクトに大きな穴が必要。短バンチビームにとって問題である。

解決策: 水平2次元4枚ミラー共振器から垂直2次元4枚ミラー共振器へ。

収束点でのレーザービームプロファイルが猫目形状になる。

ヘキサポットムーバーによる高フィネス実験は今後の課題。増大率1000倍は可能か???

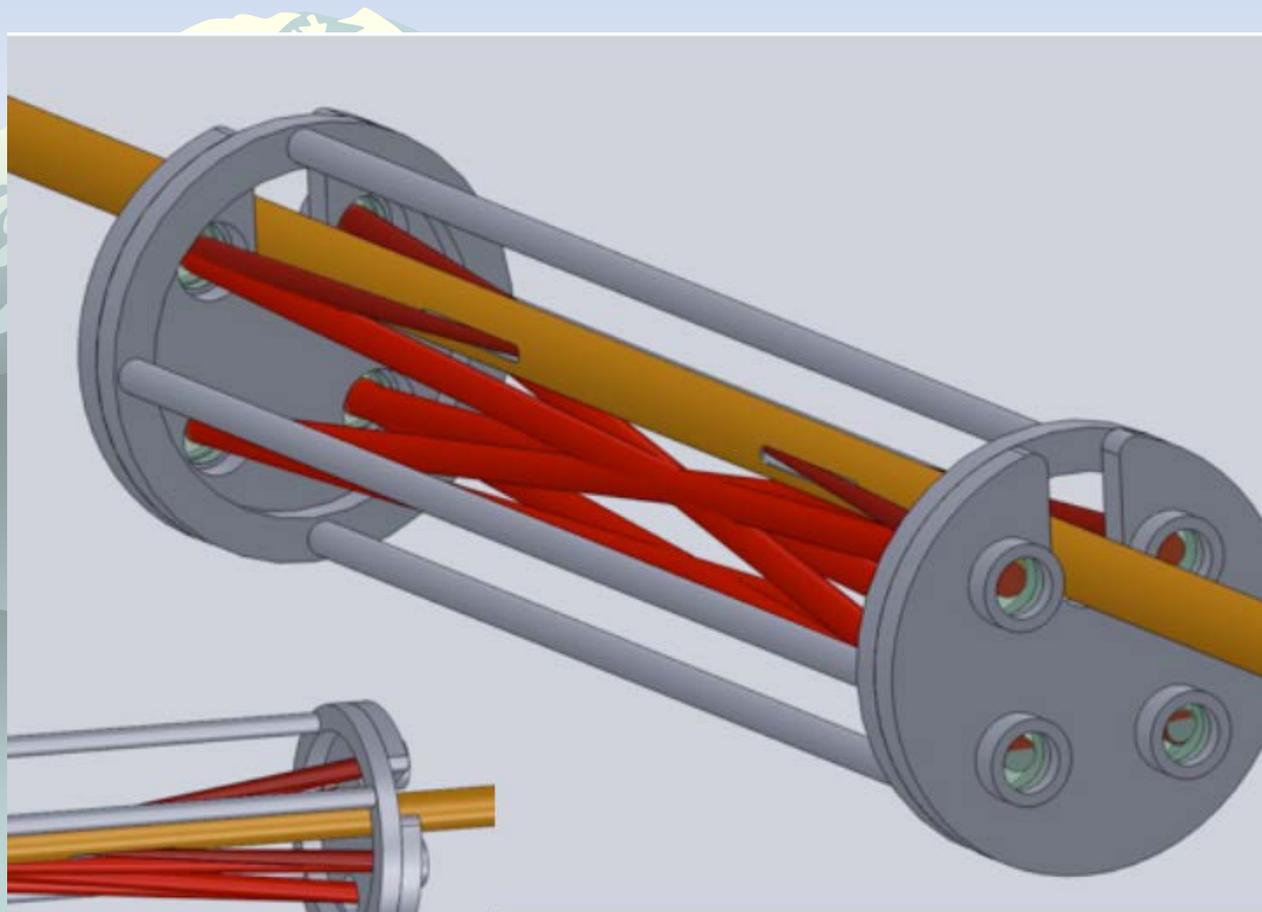
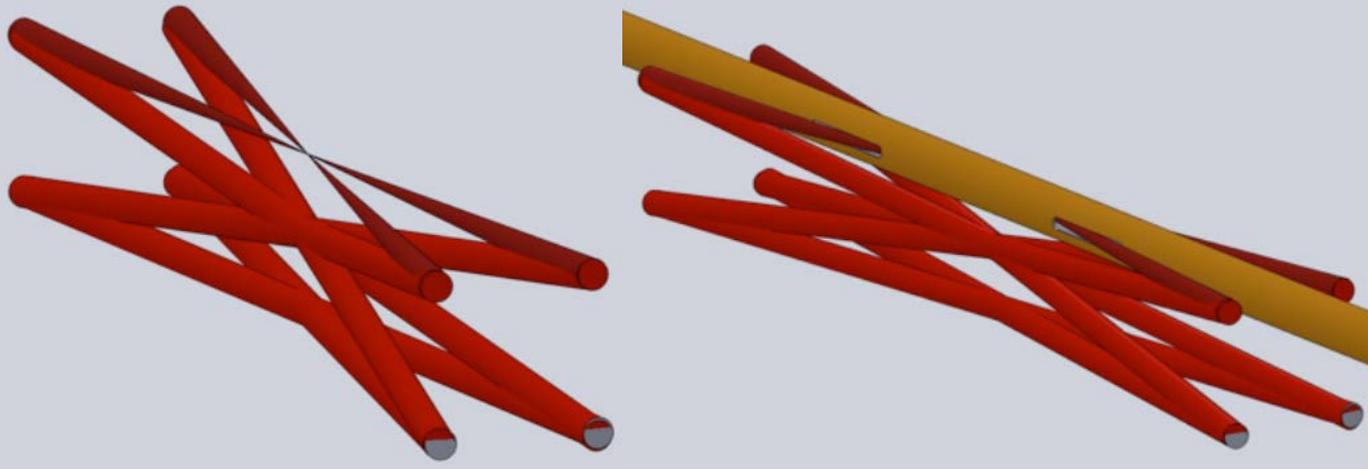
図案は本田君提供。



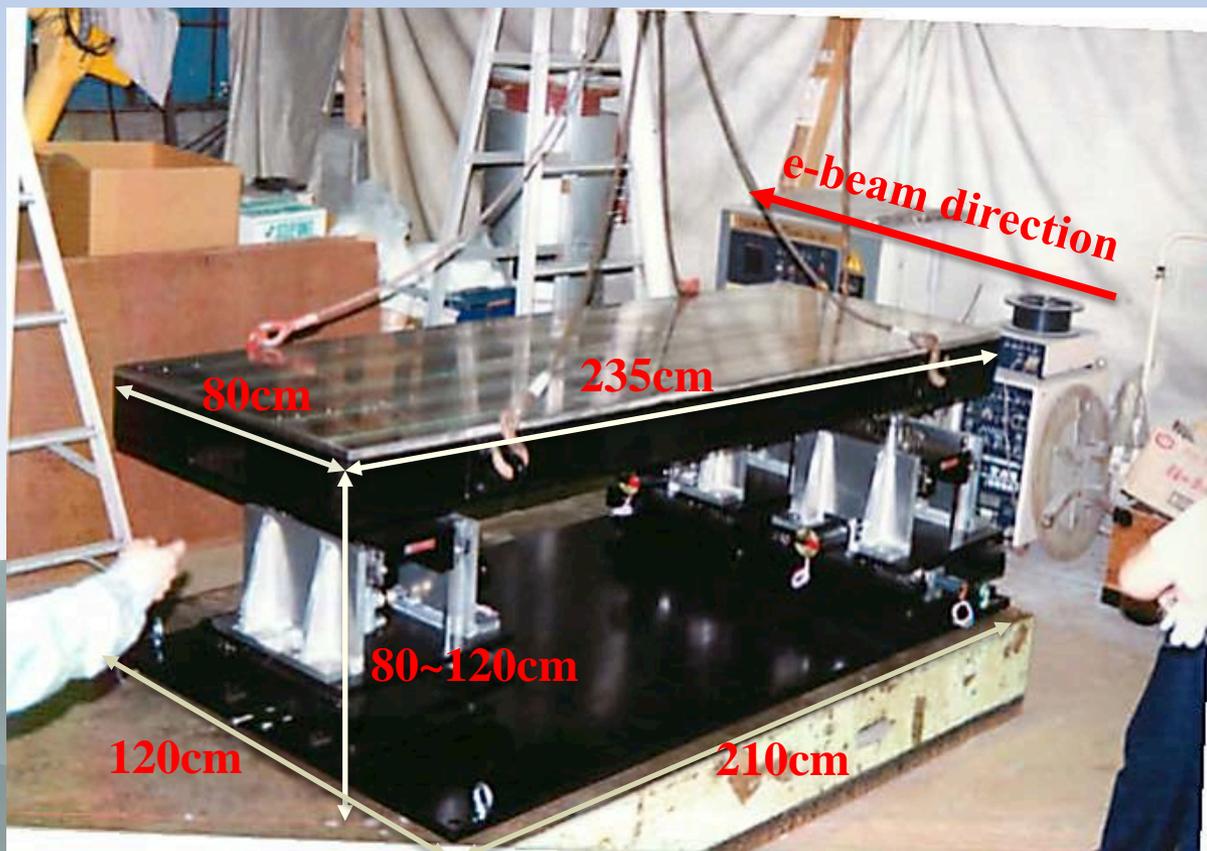
新しい案として、同じ2台の2次元垂直平面共振器を右図のように重ねること可能である。

それぞれの共振器に偏光性の違ったレーザーパルスを蓄積して、電子ビーム衝突とのタイミング制御により、高速でX線や γ 線の偏極性が切り替え可能。

真空対応のSUSで製作した鳥籠と呼んでいるフレームは、機械加工で高精度に製作でき162.5MHzの光共振器製作を仮定する場合、178.5MHzの3次元共振器製作の実績から十分な剛性がほぼ保証される。この共振器によりミラー破壊や熱効果による共鳴状態悪化をFactor 2で緩和できる。共振器複数台の重ね合わせ技術への展開へつながる。



鳥籠3次元光共振器開発によって、long 及び short piezoの取り付けや制御技術、ミラー
あおり機構等の技術はほぼ増大率10000倍を達成できる状況にある。
実績のある共振器ムーバーが必要であるが、以下のものを既に所有・運転している。次年
度の7月までにcERLで利用できるように準備できる。

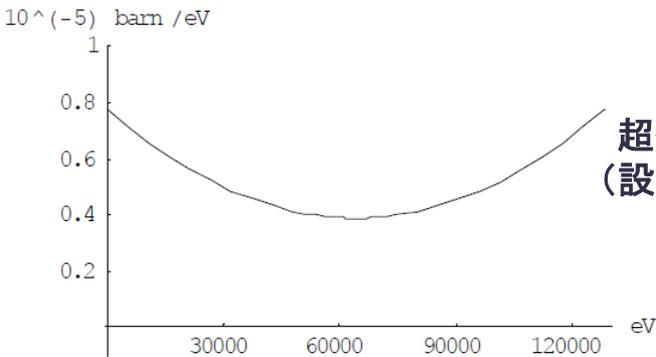


3台のムーバーは再利用、
床常磐と光学テーブルは
cERL施設に合わせる。
剛性と振動抑制対策を行う。
600mW及び45W、162.5MHz
Mode-lock laser systemが
Optical table上設置可能と
なるように光学テーブルを
拡張する。

ただし、162.5MHz 600mW mode-lock 発振器を使った調整によって、**新光共振器を3月まで
にreadyにする。**その後、**45W mode-lock発振器でミラー耐久試験や特性測定**を6月まで行い、
7月から8月の期間でcERL施設にムーバー架台と新光共振器設置および制御系移設を行い
9月から運転を開始する。(レーザー安全検査申請、運転許可)

コンパクトERLにおけるガンマ線生成実証実験

コンパクトERLに機器を追加して、レーザーコンプトンγ線の発生と利用の実証実験を行う。(in 2015) X-ray生成。



35MeVから60MeV
Second phase of
cERL plan in ~2018?

電子銃
500kV DC

LCS実験設備

Detector facility for
Gamma-ray detection

LCS-ガンマ線発生装置(光・量子
融合連携の小型高輝度X線源イ
メージング基盤技術開発で開発)

Four mirror optical
cavity for Gamma-ray
generation

60MeV Electron Beam, 532nm (green laser)
1.3GHz collision, X-ray 130keV
Number of photons per 1% width
 5×10^{13} photons/sec
 $130\text{keV} \times 5 \times 10^{13} = 1.04\text{J/s}$
330 kGy (X-ray size 0.2mm diameter)

Illustration by Rey Hori

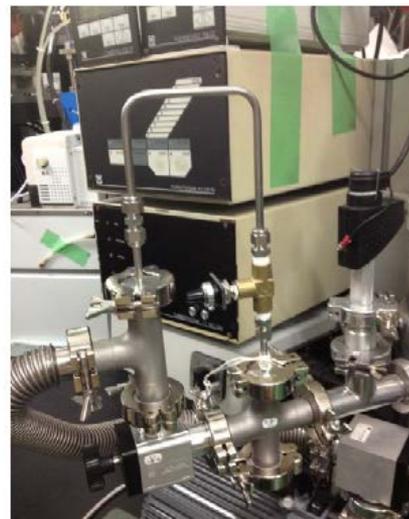
おまけ

クリーンな環境をローカルに作製して、インストールを行った。
クリーンな服装とHEPAによるクリーンブース化



インストール直前にFirstContactと呼ばれる高分子膜でクリーニングを行い、
かつイオンガンで静電気除去+ブローしてからインストール
さらに真空排気するが、排気速度が速いとチャンバー内のホコリを巻き上げるため、
100Torrまではゆっくりと排気する

>国立天文台 辰巳さん にいろいろ伺った



2010

07/25 : Installation
 08/21 : Laser locked to CAV
 09/06 : Connected to beam
 09/24 : Locked to ATF clock

10/25 : 1st γ generated
 12/08 : γ generated

2 papers **JINST**

2012.01.27 LAL-LMA-CELIA
 "Non-planar 4-mirror optical cavity for high intensity gamma ray flux production by pulsed laser beam Compton scattering off GeV-electrons"

2012.01.31 + KEK
160W ~3 γ /bunch
 "Production of gamma rays by pulsed laser beam Compton scattering off GeV-electrons using a non-planar optical cavity"

- T. Akagi,^e S. Araki,^d J. Bonis,^a I. Chaikovska,^{a,1} R. Chiche,^a R. Cizeron,^a M. Cohen,^a E. Cormier,^b P. Cornebise,^a N. Delerue,^a R. Flaminio,^c S. Funahashi,^d D. Jehanno,^a Y. Honda,^d F. Labave,^a M. Lacroix,^a R. Marie,^a C. Michel,^c S. Mivoshi,^e S. Nagata,^e T. Omori,^d Y. Peinaud,^a L. Pinard,^c H. Shimizu,^d V. Soskov,^a T. Takahashi,^e R. Tanaka,^e T. Terunuma,^d J. Urakawa,^d A. Variola^a and F. Zomer^a

2011

03/06 : Fibre Amplifier KO
 03/11 : Earthquake
 07/20 : Laser KO

New laser (MENLO)
 → more reliable, robust
 → New actuators for Freq, CEP

2012

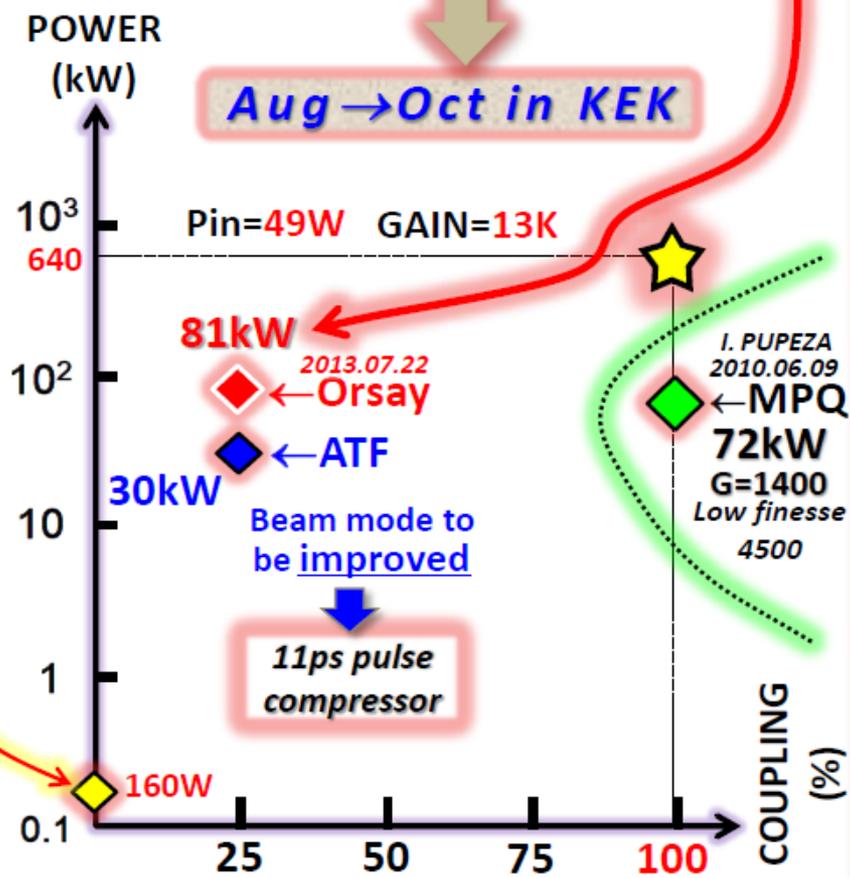
New fibre amplifier (CELIA)
 → more reliable, robust
 → 20mW injection, 50W output

2013/07

New cavity mirrors
 → Finesse **40k**, Gain **13K**

IMPROVEMENTS

New power record at Orsay - 07/22 81kW



SHIFT REQUEST

not suitable

10 2013

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

FACET

SLAC

FACET runs
 Nicolas Delerue

11 2013

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

OK

1 shift / week
 + parasitically

12 2013

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Nicolas + Iryna + 2 PhD

11/15 : calibration with KEK

Highest γ flux + Longest duration