

# 平成26年度光・量子融合連携研究開発プログラム-小型高輝度X線源イメージング基盤技術開発計画と第7回全体会議報告。

日本大学工学部船橋校舎 テクノスペース15 2階 小会議室  
加速器研究機構 浦川順治 2014.7.1

- ◆ 「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

文部科学省委託事業

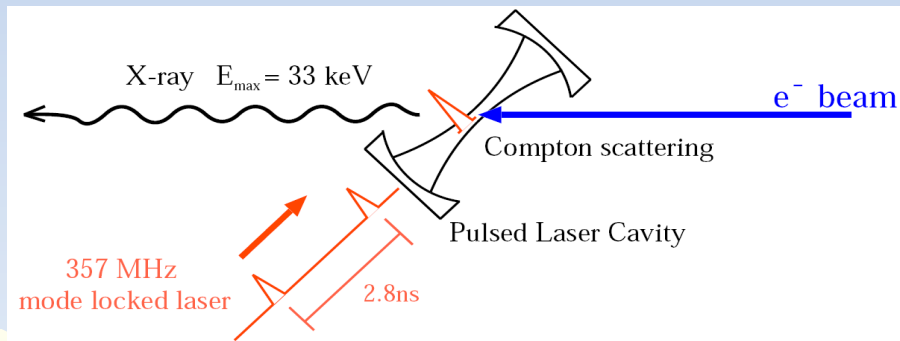
Application of advanced  
laser and accelerator  
technology for our life.



# 小型加速器による小型高輝度X線源とイメージング 基盤技術開発

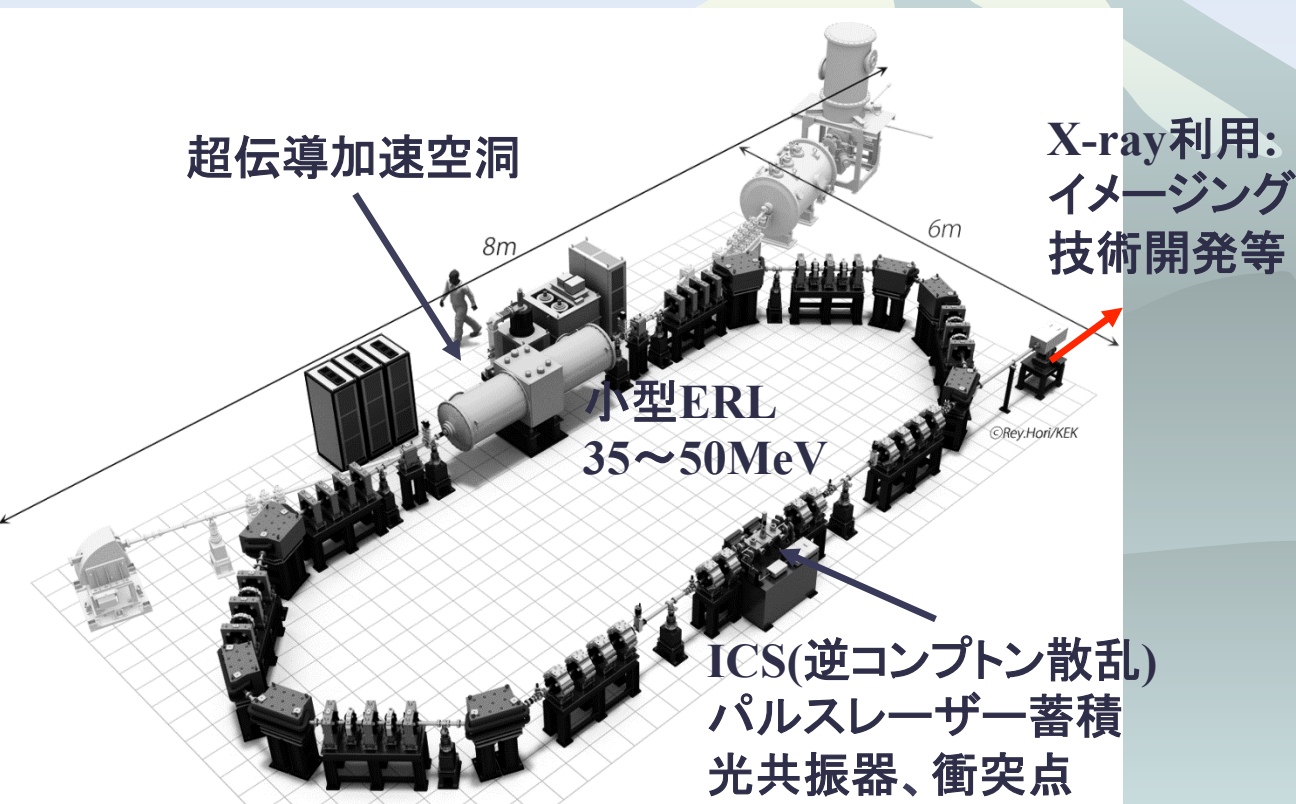
## 全体計画と研究開発目的

小型高輝度X線源(Peak Brightness  $10^{19}$ )  
数keVから100keV X線領域エネルギー可変光源



## 基盤技術開発

1. マルチアルカリカソード、
2. クライオ光陰極高周波電子銃、
3. ERL技術 (1MW電子ビーム・エネルギー回収)、
4. 大強度レーザー蓄積 (1MWレーザー蓄積)、
5. 10 $\mu\text{m}$ ビーム衝突技術、
6. X線イメージング法、
7. 4K 325MHz spoke超伝導空洞開発、



# cERL実験準備状況:

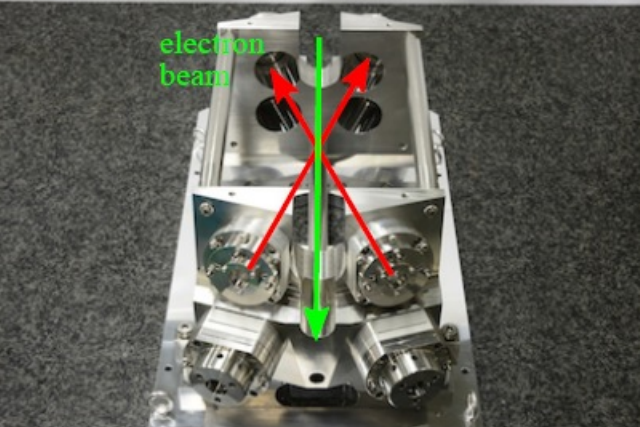
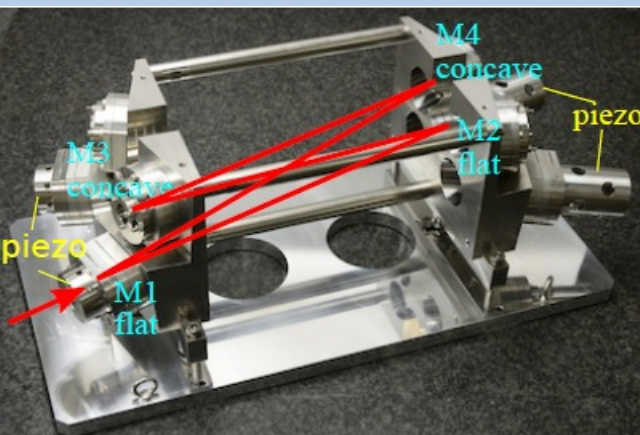


Table 2: Design parameters of the optical cavity

Frequency	162.5 MHz
Finesse	5600
Collision angle	18 degree
Spot size at IP ( $\sigma_x/\sigma_y$ )	20/30 $\mu\text{m}$
Specification of mirrors	
Substrate material	Fused silica
Diameter	25.4 mm
Reflectivity	
M1	99.9%
M2	99.99%
M3 and M4	99.999%

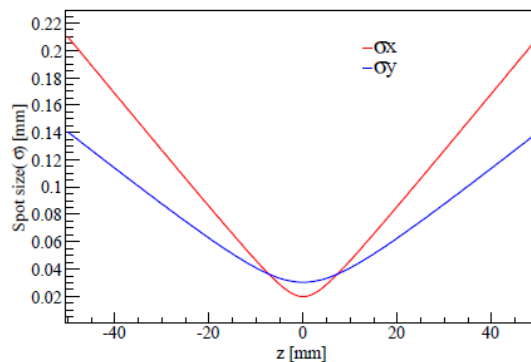


Figure 3: The spot size of laser beam along the propagation in the cavity.

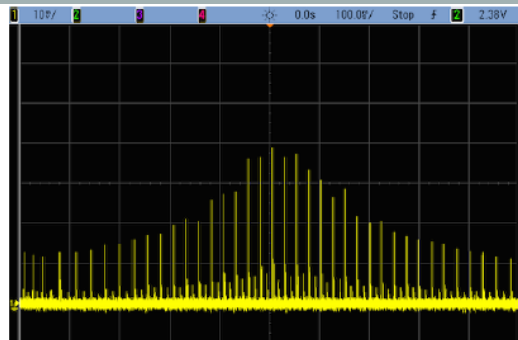


Figure 4: The resonance peaks obtained by scanning the optical path of the cavity.

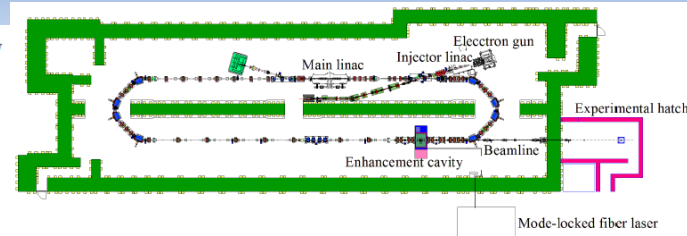


図1: コンパクト ERL とレーザーコンプトン散乱実験装置配置図

10psec pulse duration,  
162.5MHz mode-lock laser,  
45W: ready

81.25 (162.5) MHz mode-lock  
laser, 100W  
2psec pulse duration  
:preparing

Mover table will be ordered  
soon.

From Jan. to March 2015,  
Experiment for inverse  
Compton X-ray generation  
is scheduled at cERL.

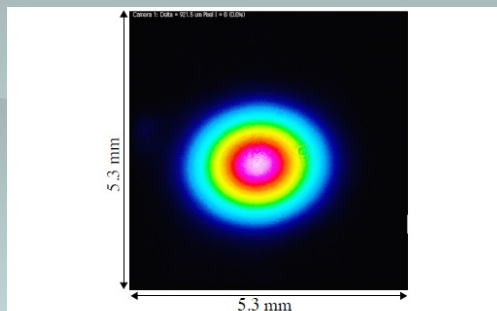


Figure 6: The transmitted laser beam profile from mirror M2.

## Background Study at cERL:

11月に共振器を設置、2~3月に加速器を運転し、LC信号を検出する。

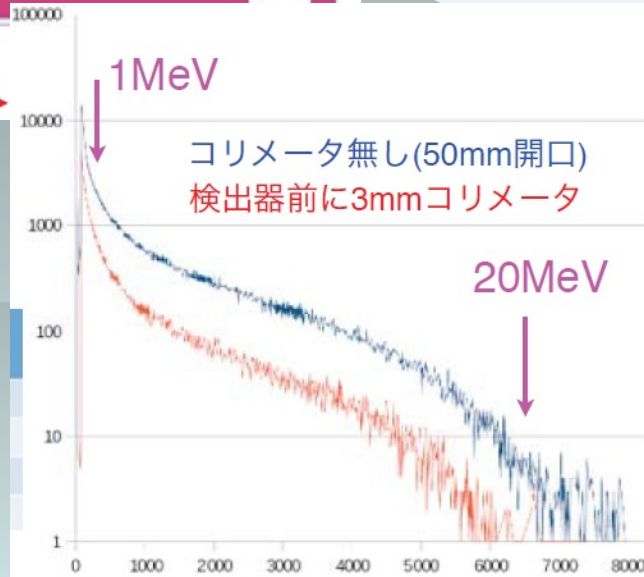
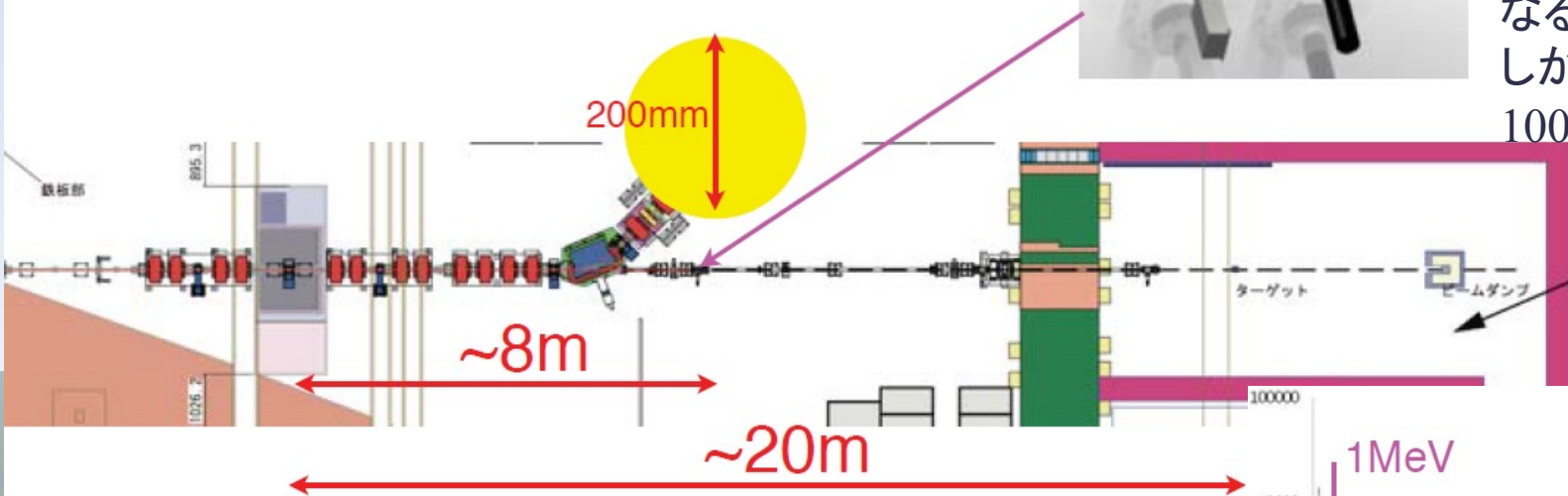
(その前に、100 $\mu$ A, 25MeVビームとしての施設検査を完了しなければならない。)

電子ビーム：E=20MeV ( $\gamma=40$ ), レーザー： $\lambda=1064$ nm, 衝突角18度

生成されるX線は、最大7.0keV。(大気で減衰するので、Be窓で仕切った低真空ダクトで輸送)

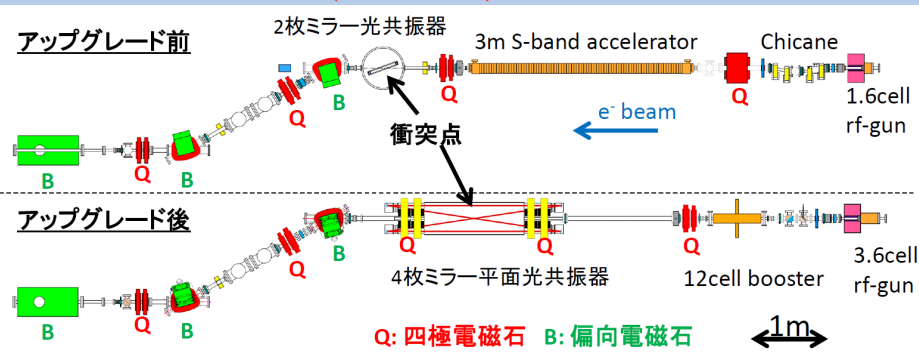


電子ビームエネルギーが25MeVになる可能性あり。しかし、電流値100 $\mu$ Aが上限値。

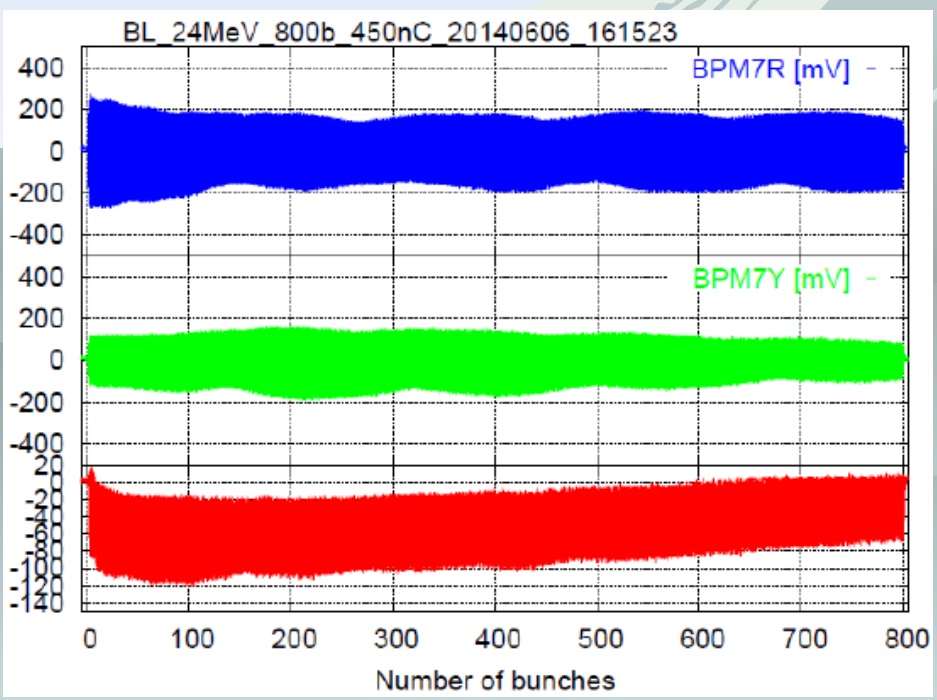
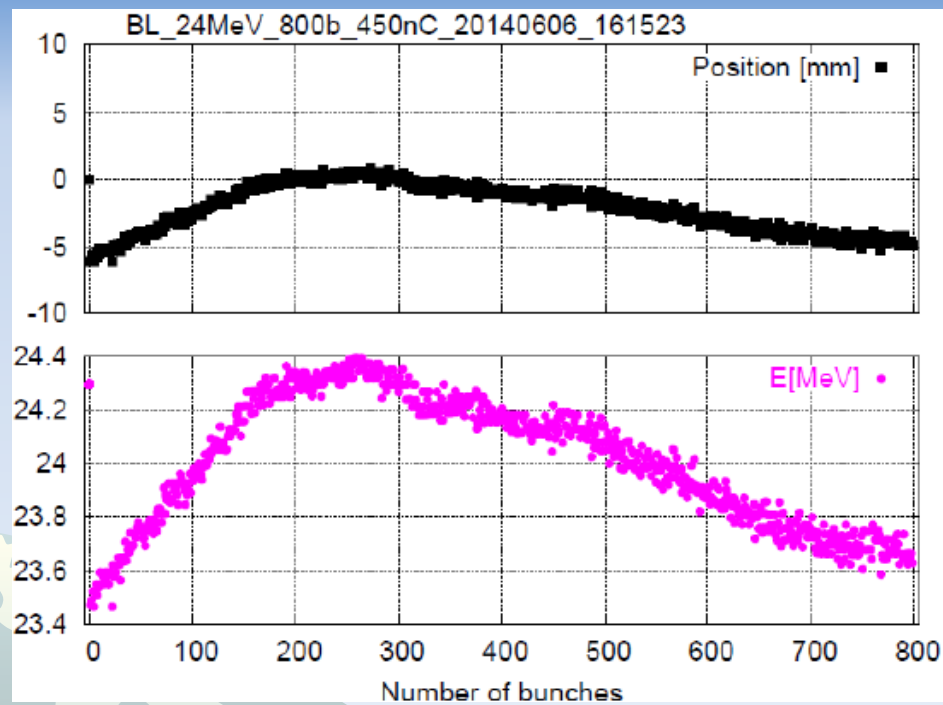


optics	電流[ $\mu$ A]	コリメータ	カウント数 [kcps]	1 mA相当 [Mcps]
通常	0.6	無	165	275
		Col2-Right	6.3	10.5
LCS	0.05	無	150	3000
		Col2、Col3	1.3	26

# LUCX施設(30MeV)



改造終了、1MWパルスレーザー蓄積技術、357MHz~10 $\mu$ m衝突技術、X線イメージング技術等の開発(2013-2019)。



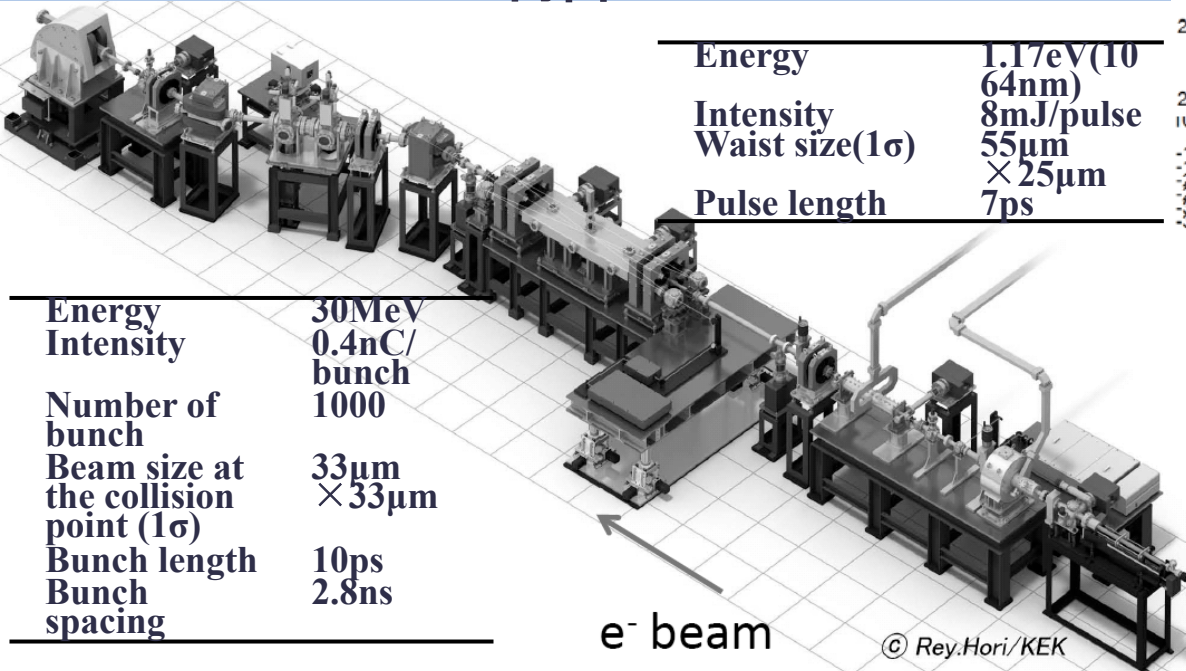
Beam loading compensation実験を9月から開始する。

9月からマルチバンチ電子ビーム:  
1000 bunches/pulse, energy spread <0.1%  
30MeV 電子ビーム運転へ。

10月か11月、X-ray生成実験。  
Imaging取得へ。

12月、秋葉原でシンポジウム。

# ビーム制御

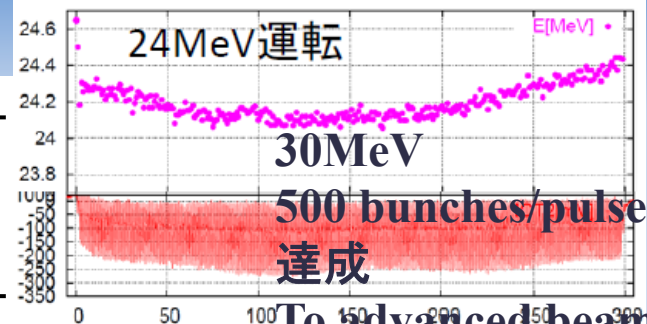


Energy 1.17eV (1064nm)  
 Intensity 8mJ/pulse  
 Waist size(1σ) 55μm × 25μm  
 Pulse length 7ps

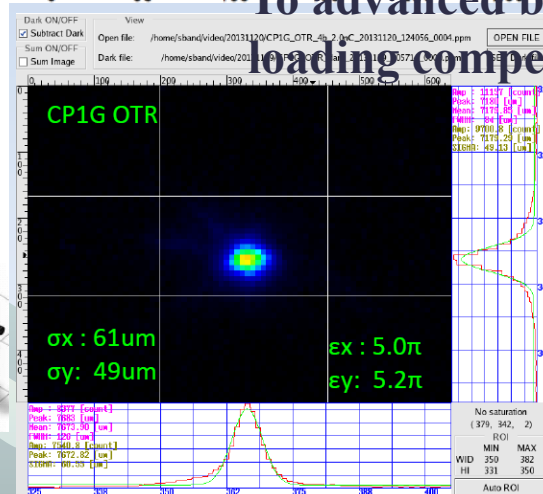
Energy 30MeV  
 Intensity 0.4nC/bunch  
 Number of bunch 1000  
 Beam size at the collision point (1σ) 33μm × 33μm  
 Bunch length 10ps  
 Bunch spacing 2.8ns

e<sup>-</sup> beam

© Rey.Hori/KEK

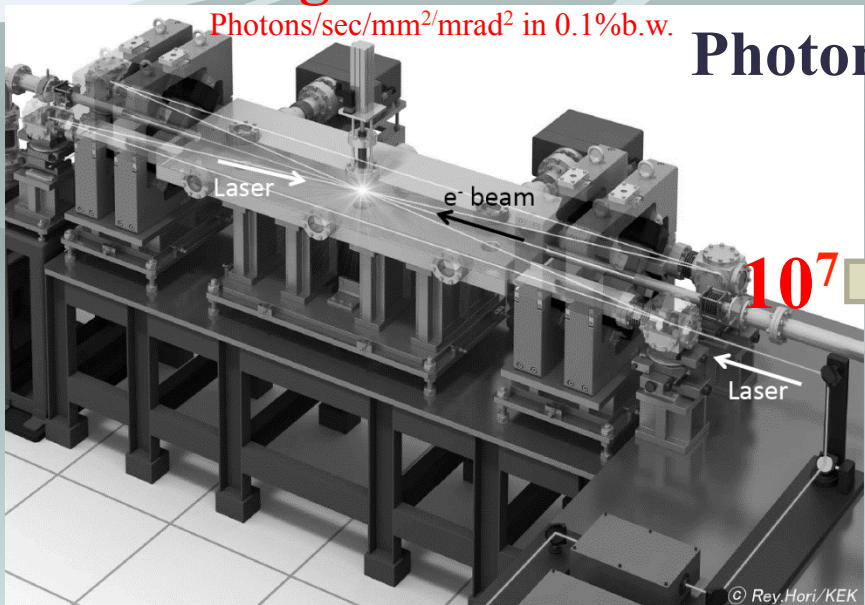


To advanced beam loading compensation

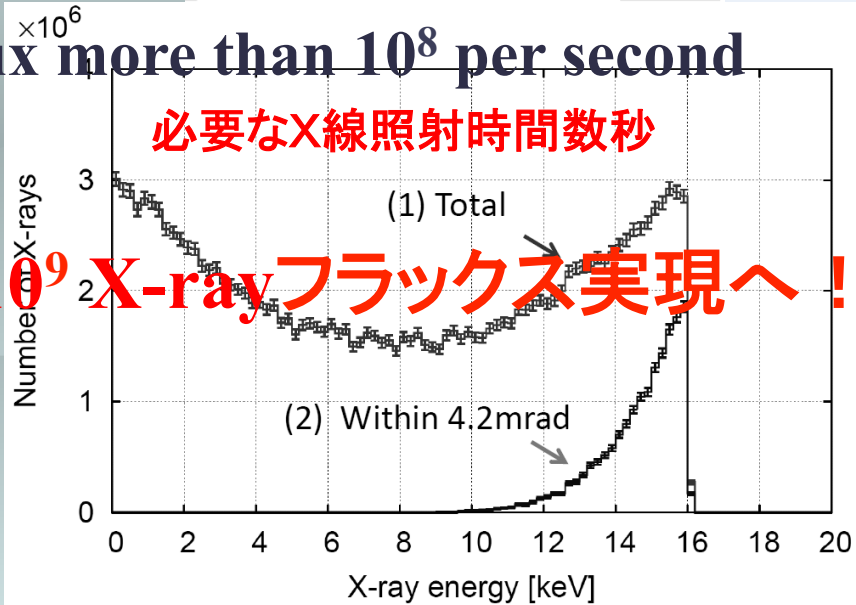


Brightness  $10^{12}$   
 Photons/sec/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup> in 0.1%b.w.

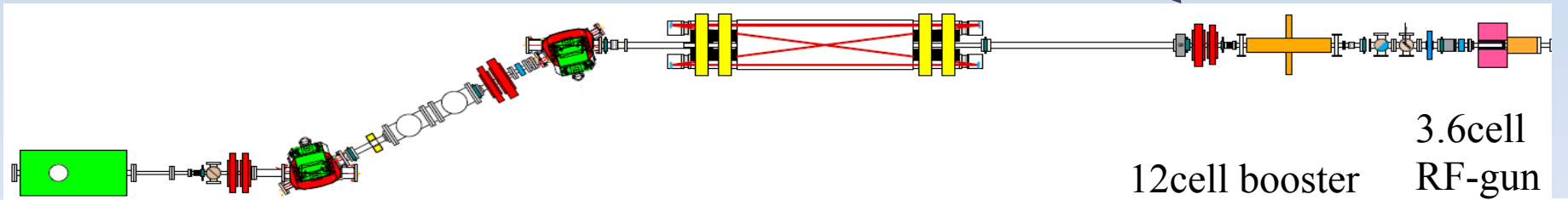
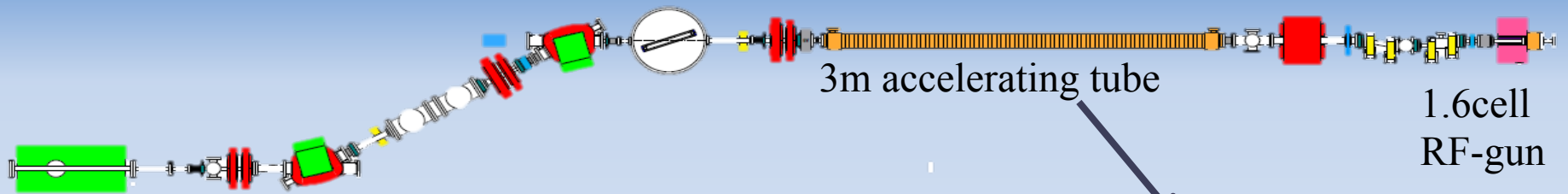
Photon flux more than  $10^8$  per second



$10^7 \rightarrow 10^9$  X-rayフラックス実現へ!

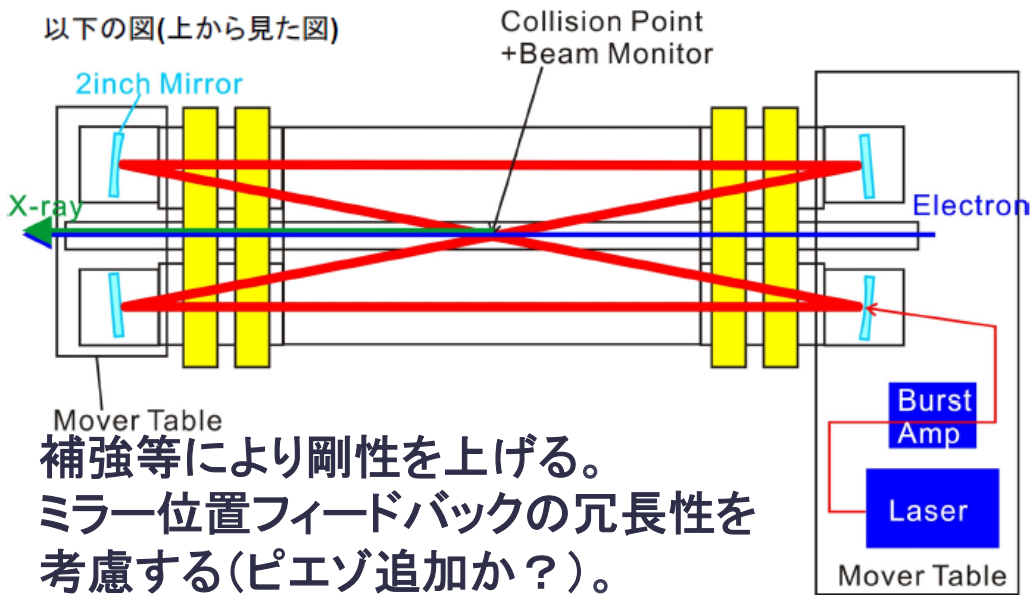


必要なX線照射時間数秒

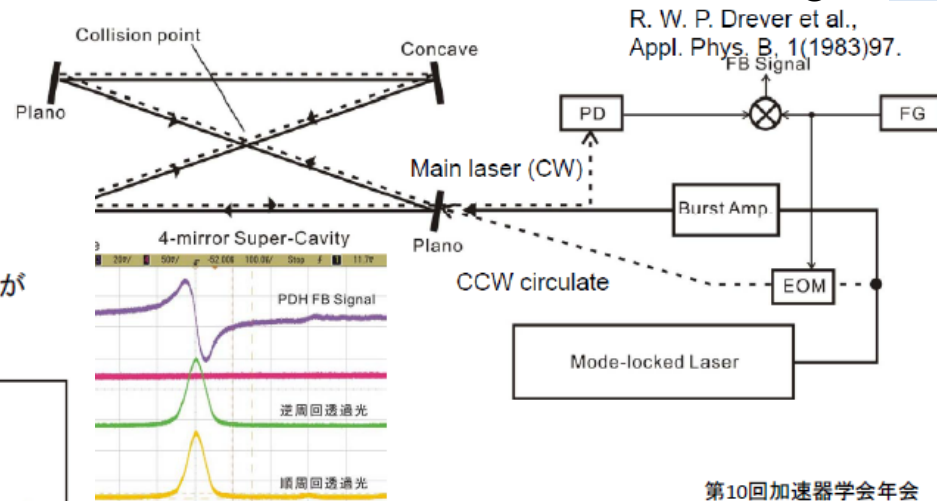


### Cavity Design

前述の衝突角度問題+4枚ミラーCavityという境界条件の下良さそうな設計が以下の図(上から見た図)



補強等により剛性を上げる。  
ミラー位置フィードバックの冗長性を考慮する(ピエゾ追加か?)。



第10回加速器学会年会

逆周回レーザーを使った共鳴制御によって、Burst Amp増幅により10kW入射が可能になった(~200W入射実現)。DC運転では入射レーザーパワーは100Wから200Wが最近の目標になっている。

# 最近のATF2成果

## Beam Size Monitor at Focal Point (IPBSM)

Shintake Monitor, using interference of laser beam

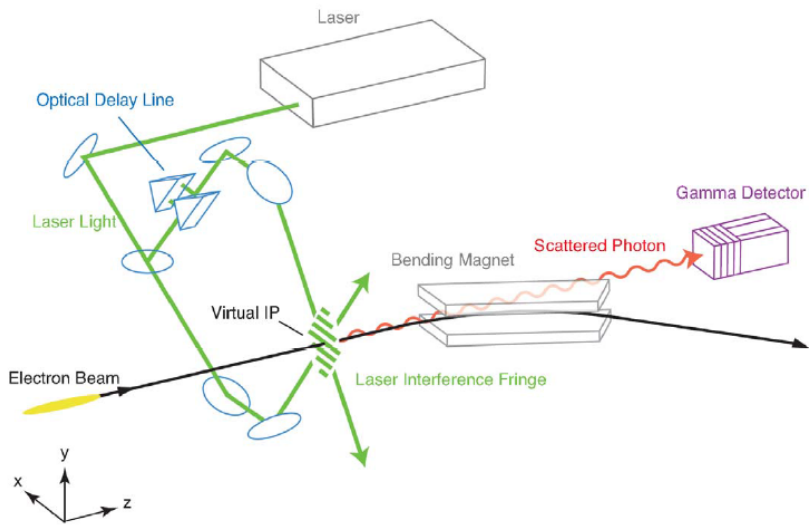


Figure from: Y. Yamaguchi, Master thesis at Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2010

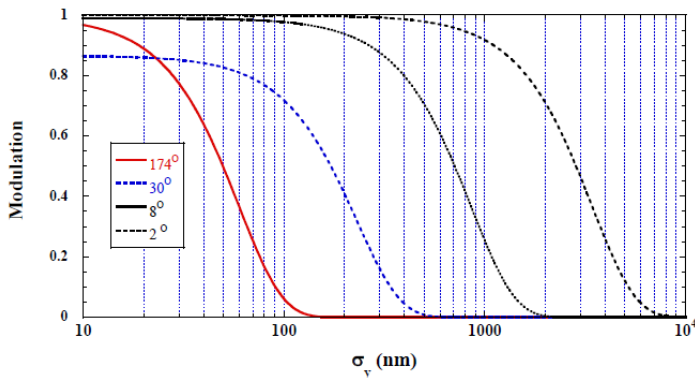
## Measureable Beam Size Range of IPBSM

Sensitive beam size range depends on crossing angle ( $\theta$ ) of two laser beams.

Pitch of interference fringe: 
$$h = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)}$$

There are 3 different crossing angle modes for covering wide range.

Crossing angle mode
174 deg.
30 deg.
2-8 deg. continuously adjustable



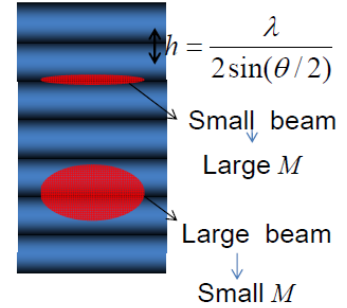
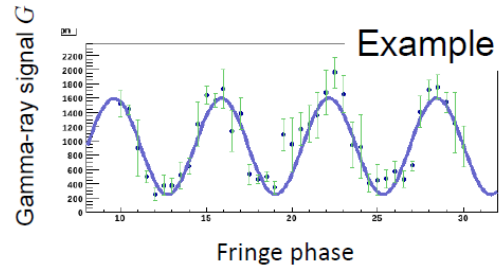
Covers  
25 nm - 6000 nm

## Beam size measurement

Scan interference fringe phase.

Fit modulation  $M$ :

$$G(\phi) = G_0(1 + M \cos(\phi + \phi_0))$$



For Gaussian beam profile

$$M = |\cos \theta| \exp\left(-\frac{2\pi^2 \sigma^2}{h^2}\right)$$

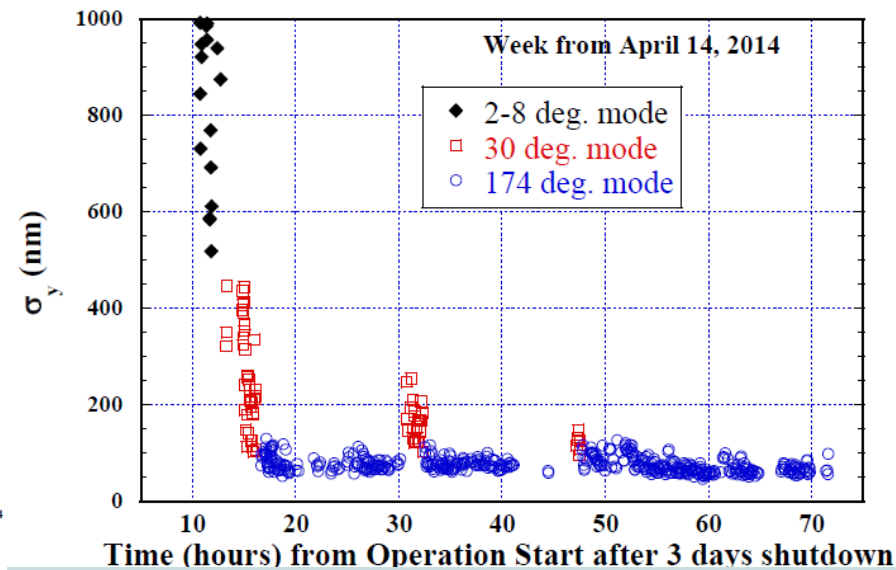
Evaluate beam size,  $\sigma$ , from this expression.

Possible errors reduce  $M$  and make apparent beam size larger.  
Measured size: Upper limit

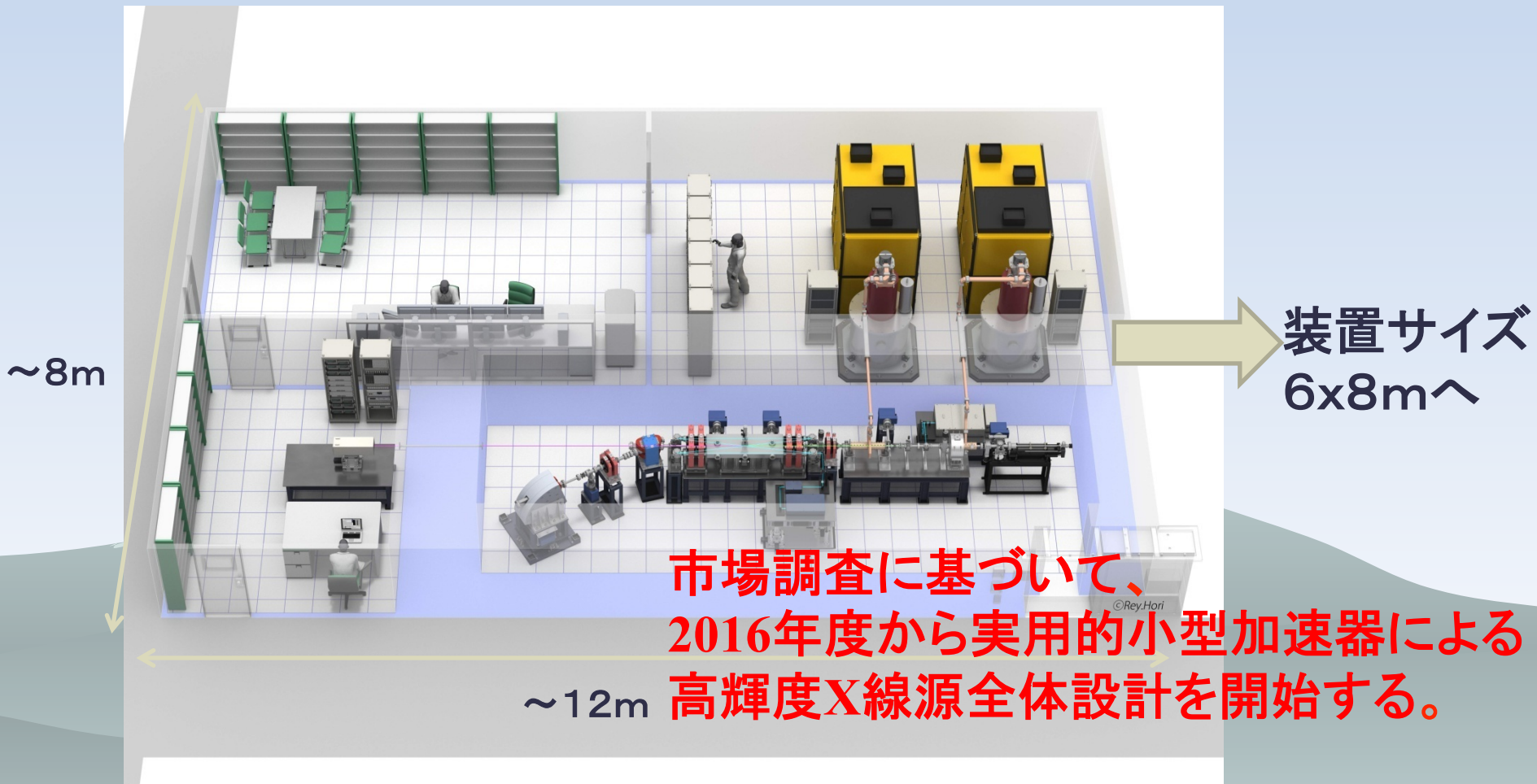
## Beam Size Tuning after 3 days shutdown

Small beam (~60 nm) observed

~16 hours from operation start



# 逆コンプトン散乱による高輝度X線発生施設



## 小型常伝導線形電子加速器による高輝度X線発生装置

12月、光・量子融合連携研究開発  
プログラムシンポジウム  
秋葉原

2k冷凍から4k冷凍で運転可能な超伝導空洞開発  
によって小型化を実現(基盤技術開発後に導入)。