



「光・量子融合連携研究開発プログラム」

# 小型加速器を用いた逆コンプトン散乱光源による 最適なイメージング手法の開発

独立行政法人 産業技術総合研究所

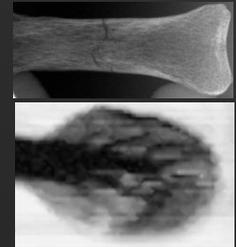
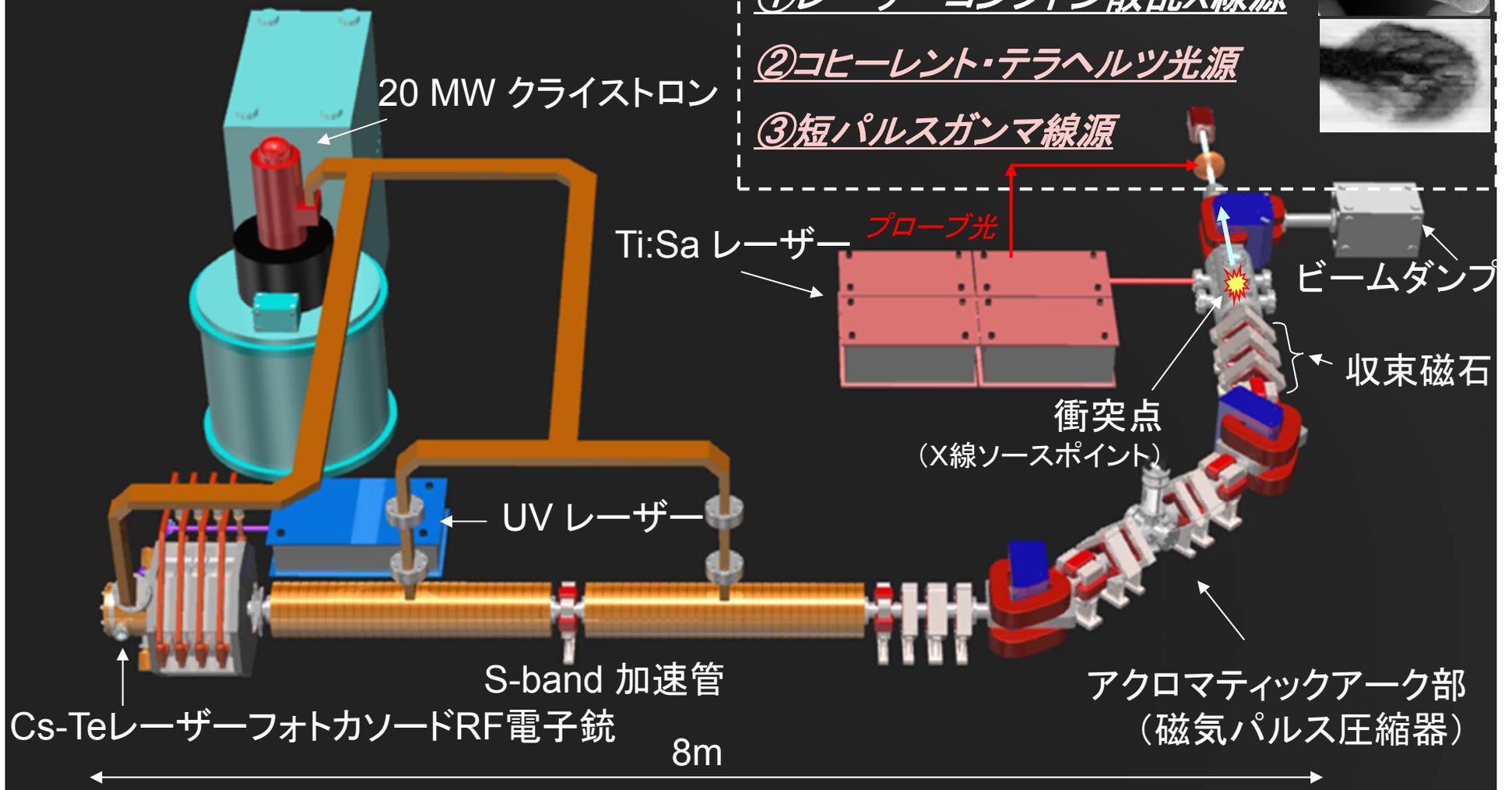
計測フロンティア研究部門 小型量子ビーム源グループ

黒田 隆之助、平 義隆

産総研Sバンド小型リニアック施設を用いた各種光源開発と利用

～安全安心・ライフイノベーションに向けた加速器技術の新展開～

Sバンド小型リニアック施設



## 本年度の具体的実施事項

### 1. 多用途のSバンド小型リニアック施設を

いつでも本事業を遂行できるようにICS光源の環境整備を行う

(いつでもX線が出るようにしたい・・・今年度予算だけでは厳しい)

・衝突用レーザーの発振器交換(故障のため市販品に交換)

→ 3種のレーザーを試す

SP社製Ti:Sa 2種

Erファイバーレーザー二倍波

・クリーンブースに温調機を設置する

・Cs-Te蒸着チェンバーを改良する

### 2. ICS光源による集光実験

・ガラスキャピラリーによるICS-X線の集光

### 3. 各種撮像手法と検出器のサーベイ

・評価用サンプルを検討 ⇒ 最初はテストチャート

・検出器 IP、X線CCD、X線II+HARP、X線II+可視CCD、(SOI?) など

・ターボ干渉実現へ向けた検討

# Sバンド小型リニアックを用いた レーザーコンプトン散乱X線のまとめ

## レーザーコンプトン散乱X線 (シングルパルスモード)

衝突角	X線エネルギー	パルス幅 (rms)	全光子数
90°	20 keV (max)	150 fs (フェムト秒利用)	$\sim 10^6$ /s@10Hz
165°	40 keV (max)	3 ps (イメージング利用)	$\sim 10^7$ /s@10Hz

※X線エネルギー幅は、中心付近で約4%程度

### 電子ビーム

エネルギー(max)	42 MeV
電荷量	1 nC
バンチ長(rms)	3 ps

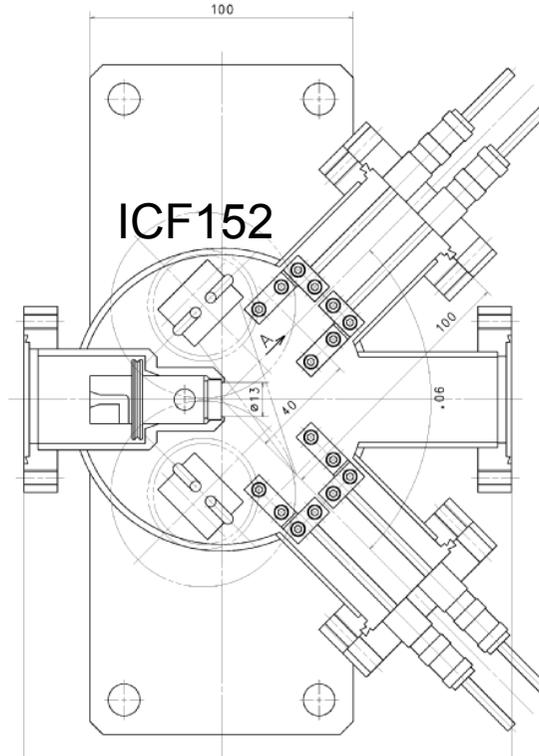
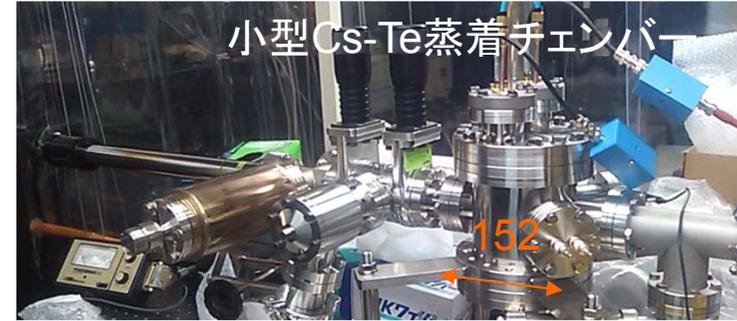
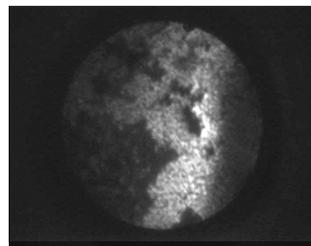
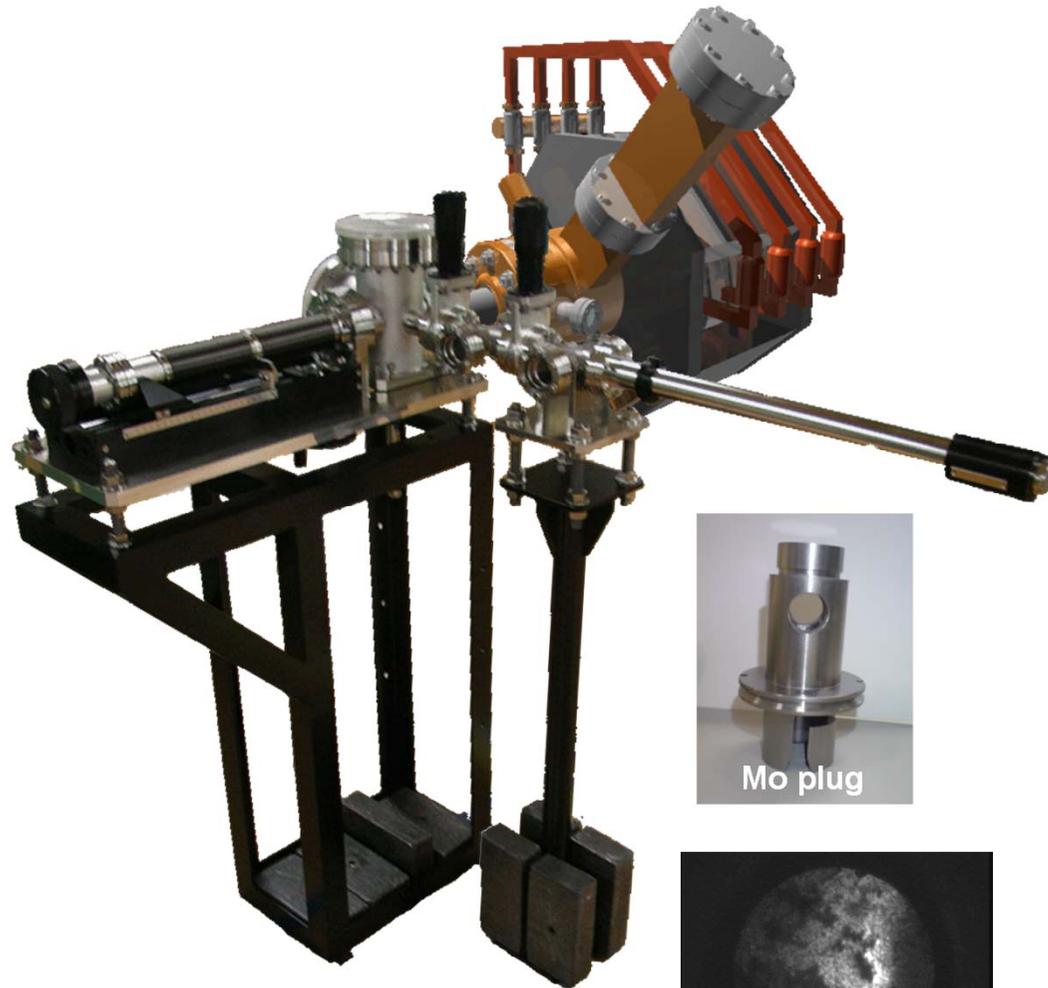
### Ti:Sa レーザー

波長	800 nm
パルスエネルギー	140 mJ
パルス幅 (FWHM)	100 fs



# フォトカソードRF電子銃の開発

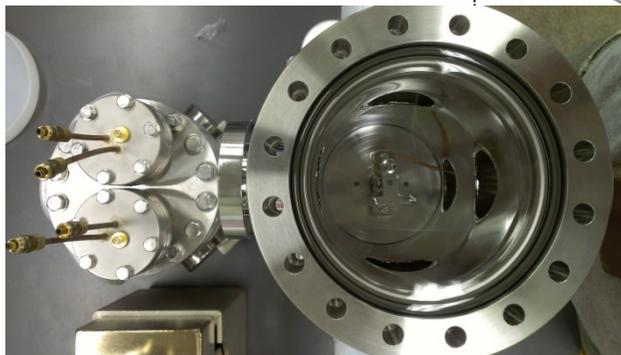
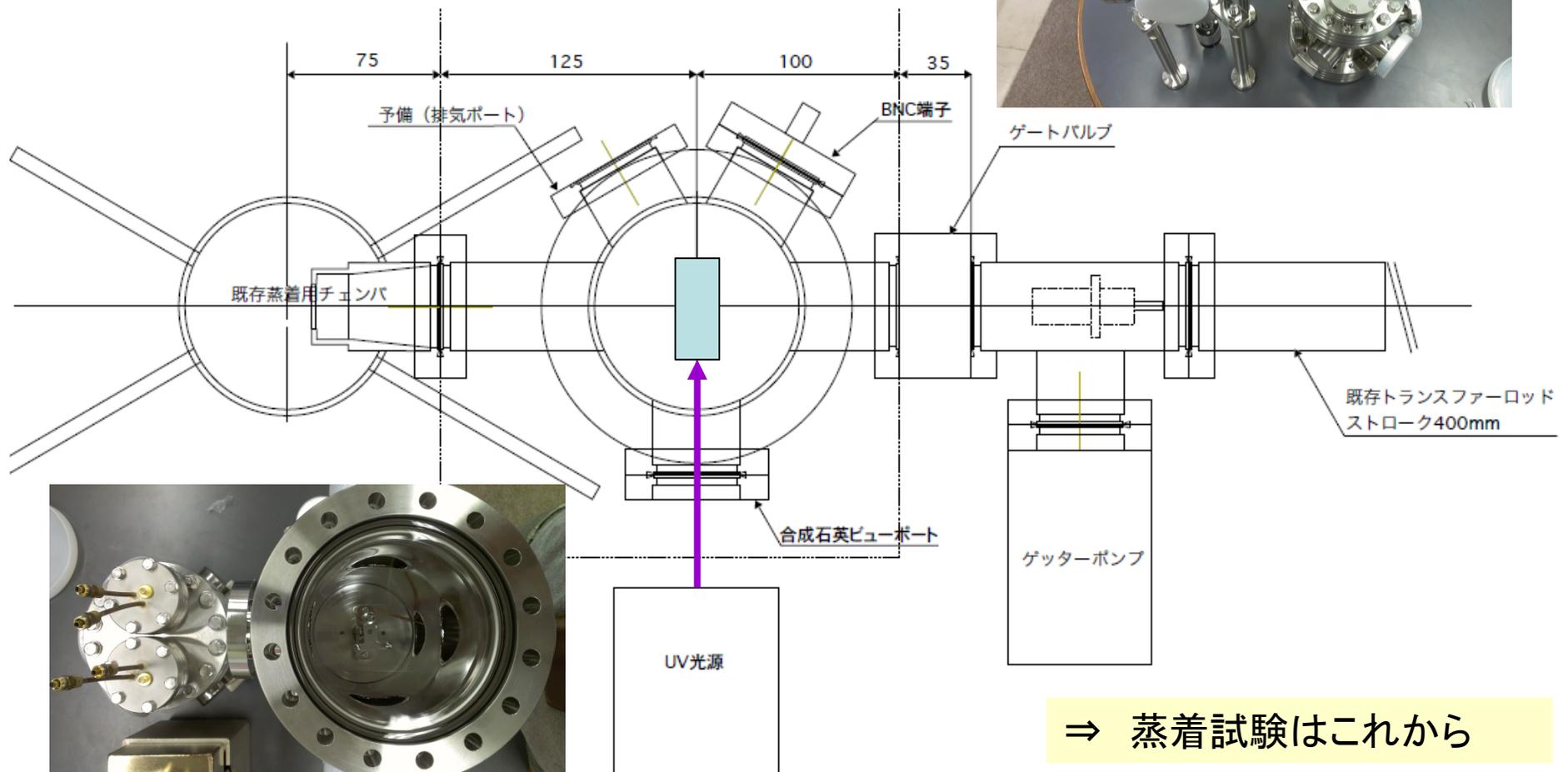
(Collaborating with KEK、早大、京大、阪大)



蒸着チェンバーを改良する

# Cs-Teチェンバーの改良

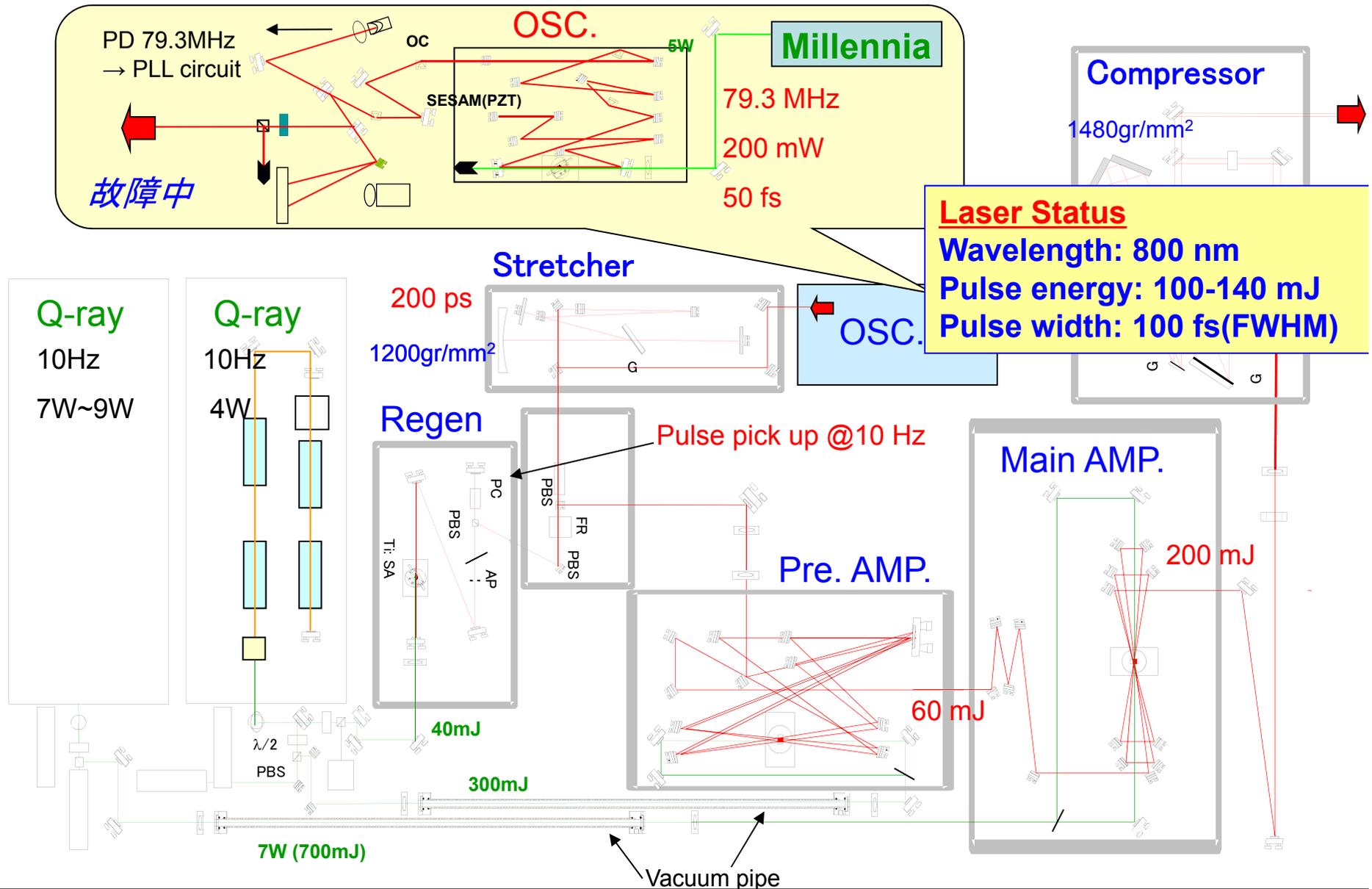
オフラインでの量子効率測定を行えるように  
測定用チェンバーを導入



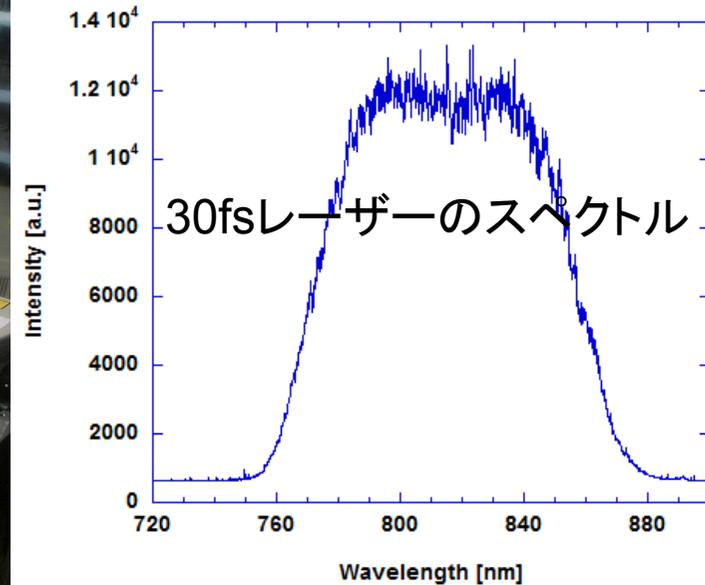
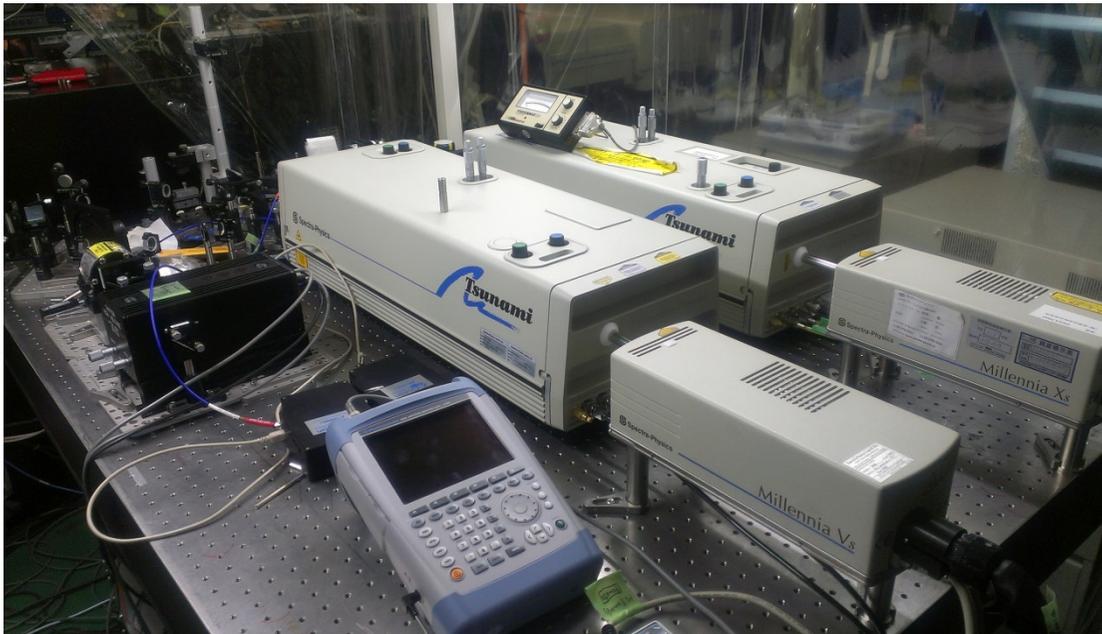
⇒ 蒸着試験はこれから

## 衝突用レーザーの整備

これまでの衝突用レーザーのレイアウト



## Ti:Saレーザー発振器を手作りからSP社製に変更



800nm < 100fs 1.5W



オートコリレーターにより100fsを確認  
(既存システムにはスペクトルが不十分な可能性もある)

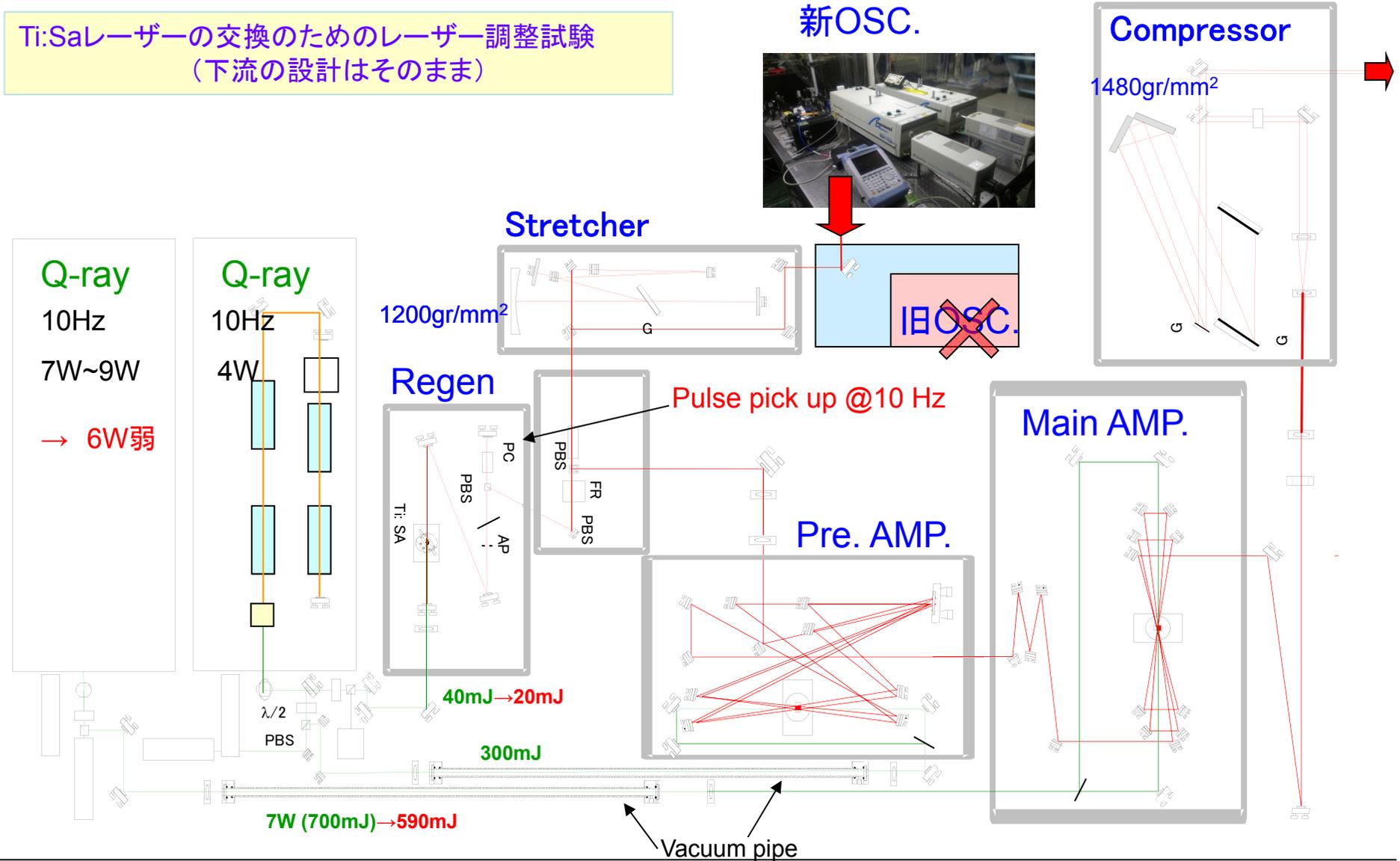
800nm < 30fs 500mW



不調  
(スペクトルは十分だが不安定)

# 新たな衝突用レーザー(CPA)のレイアウト

Ti:Saレーザーの交換のためのレーザー調整試験  
(下流の設計はそのまま)



# 旧Ti:Saレーザー発振器の性能とオフナー型ストレッチャーの設計

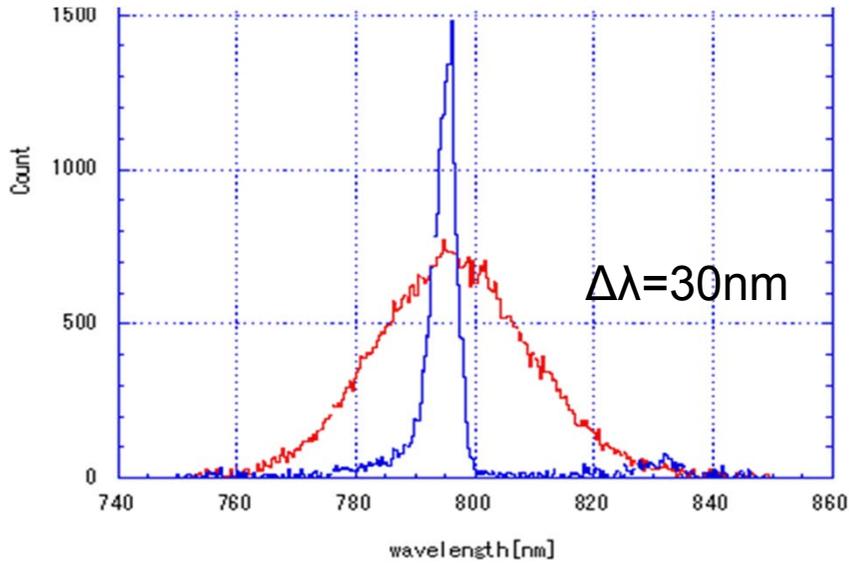
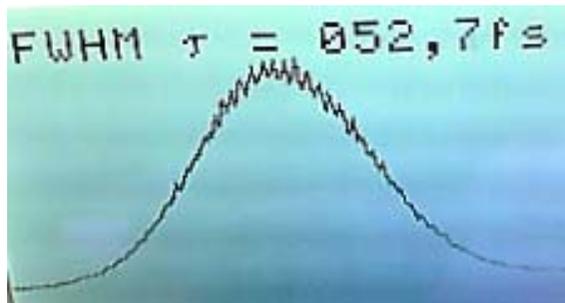
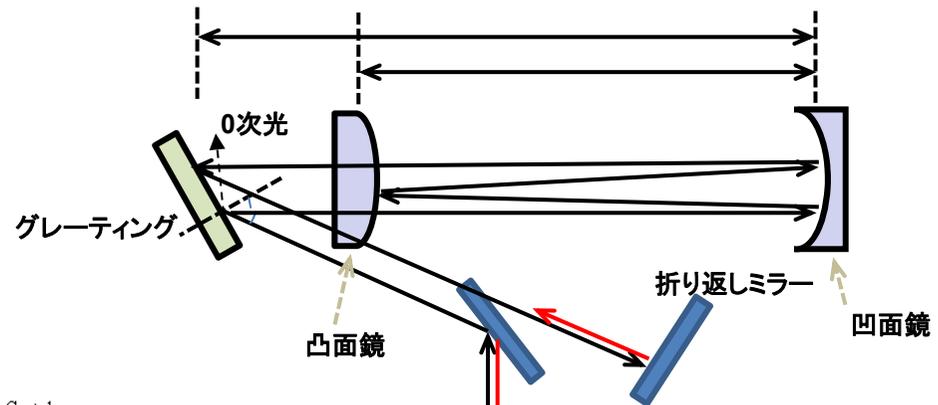


Fig.1 ストレッチャー導入前後のスペクトル波形



パルス幅=約53fs(FWHM)



Stretcher		minimum wavelength	
nm	$10^{-9}\text{m}$	$\lambda_{\min} := \lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$	$\lambda_{\min} = 795\text{nm}$
μs	$10^{-6}\text{s}$	maximum wavelength	$\lambda_{\max} = 815\text{nm}$
ns	$10^{-9}\text{s}$	$\lambda_{\max} := \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$	
ps	$10^{-12}\text{s}$	incident angle	$\theta := 22\text{deg}$
fs	$10^{-15}\text{s}$	round number	$i := 1$
light speed	$c := 299792458\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	diffraction angle	$\phi(\lambda) := \left  \arcsin\left(\sin(\theta) - \frac{\lambda}{d}\right) \right $
Center wavelength	$\lambda_0 := 800\text{nm}$		$\phi(\lambda_{\min}) = 34.569\text{deg}$
bandwidth	$\Delta\lambda := 30\text{nm}$	pass length	$\phi(\lambda_{\max}) = 37.113\text{deg}$
groove number	GrNo := 1200		$p(\lambda) := -2 \cdot \frac{\cos(\phi(\lambda_0))}{\cos(\phi(\lambda))} \cdot (2r_{\text{conc}} - 2) \cdot (1 + \cos(\theta - \phi(\lambda)))$
line space	$d := \frac{1\text{mm}}{\text{GrNo}} = 8.333 \times 10^{-7}$		$p(\lambda_{\min}) = -2.335$
radius of the concave mirror	$r_{\text{conc}} := 1\text{m}$		$p(\lambda_{\max}) = -2.398$
radius of the convex mirror	$r_{\text{conv}} := 0.5\text{m}$	diffraction angle	$\phi(\lambda_0) = 35.931\text{deg}$
distance between the concave mirror and the grating	$l := 700\text{mm}$	relative time delay at 1-round trip	$\Delta t := i \cdot \frac{ p(\lambda_{\min}) - p(\lambda_{\max}) }{c}$
			$\Delta t = 210.707\text{ps}$



ビームサイズへの影響の評価

ストレッチャー

w1 : at the first concave mirror

$$w1 := 1 \cdot (\tan(\phi(\lambda_{max}) - \phi(\lambda_0)) + \tan(\phi(\lambda_0) - \phi(\lambda_{min})))$$

w2 : at the convex mirror

$$w2 := \left[ w1 + \frac{r_{occ}}{2} \cdot \left( 1 - \frac{2f}{r_{occ}} \right) (\tan(\phi(\lambda_{max}) - \phi(\lambda_0)) + \tan(\phi(\lambda_0) - \phi(\lambda_{min}))) \right]$$

w3 : at the second concave mirror

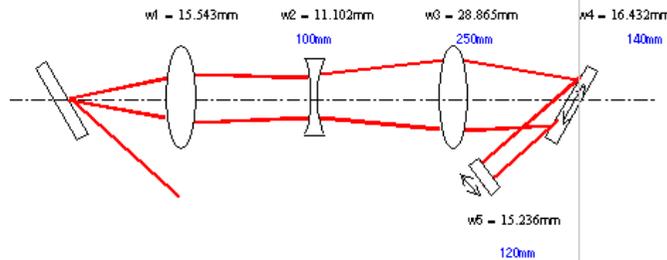
$$w3 := 3w1 + 2(r_{occ} - 2 \cdot f) (\tan(\phi(\lambda_{max}) - \phi(\lambda_0)) + \tan(\phi(\lambda_0) - \phi(\lambda_{min})))$$

w4 : at the second grating

$$w4 := \frac{\left[ \left( 3 - \frac{2 \cdot f}{r_{occ}} \right) \cdot w1 + \left[ 2 \cdot (r_{occ} - 2 \cdot f) + 1 \cdot \left( \frac{2 \cdot f}{r_{occ}} \cdot 1 - 1 \right) \right] \cdot (\tan(\phi(\lambda_{max}) - \phi(\lambda_0)) + \tan(\phi(\lambda_0) - \phi(\lambda_{min}))) \right]}{\cos(\phi(\lambda_0))}$$

w5 : at the reflect mirror

$$w5 := w4 \cdot \cos(\theta)$$



ビームサイズは半分@ストレッチャー

コンプレッサー

Suitable A01 and distance $\theta_{comp} = 42.051 \text{deg}$ グレーティング間距離 $L_g = 472.283 \text{mm}$	入射軸と回折軸のなす角 $ \text{difference}(\theta_{comp})  = 11.107 \text{deg}$
<b>Linear and quadratic phase at the stretcher and the compressor</b>	
<b>Stretcher</b>	$GVD(\omega_0) = 1.47 \times 10^6 \text{fs}$ $TOD(\omega_0) = -3.474 \times 10^6 \text{fs}$
<b>Compressor</b>	$GVD_{comp}(\theta_{comp}, L_g) = -1.487 \times 10^6 \text{fs}$ $TOD_{comp}(\theta_{comp}, L_g) = 3.462 \times 10^6 \text{fs}$
diffraction angle $\phi_{comp}(\lambda_0) := \left  \arcsin \left( \sin(\theta_{comp}) - \frac{\lambda_0}{d_{comp}} \right) \right $	
beam size at the second grating $w_{comp,grating} := L_g \cdot \frac{\tan(\phi_{comp}(\lambda_{max}) - \phi_{comp}(\lambda_0)) + \tan(\phi_{comp}(\lambda_0) - \phi_{comp}(\lambda_{min}))}{\cos(\phi_{comp}(\lambda_0))}$	
at the roof mirror $w_{comp,roof} := w_{comp,grating} \cdot \cos(\theta_{comp})$	
diffraction angle $\phi_{comp}(\lambda_0) = 30.944 \text{deg}$	
<b>Beam size at the compressor</b> 但し初期ビームサイズ 50mmとする。(下記の+50mm)	
Grating $w_{comp,grating} + 50 \text{mm} = 64.255 \text{mm}$	<b>140mm</b>
Roof mirror $w_{comp,roof} + 50 \text{mm} = 60.585 \text{mm}$	<b>120mm</b>

約14mm小さい@グレーティング  
約11mm小さい@ルーフミラー

⇒ 同じパワーの場合、ダメージに注意する必要がある

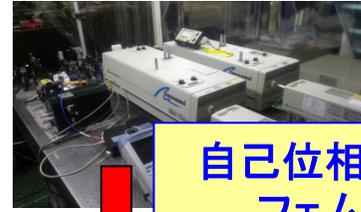
## 新たな衝突用レーザー(CPA)のレイアウト

プリアンプの調整が不十分なため十分なパワーは得られていないが、調整次第と思われる

励起レーザーは、フラッシュランプの劣化が見られる



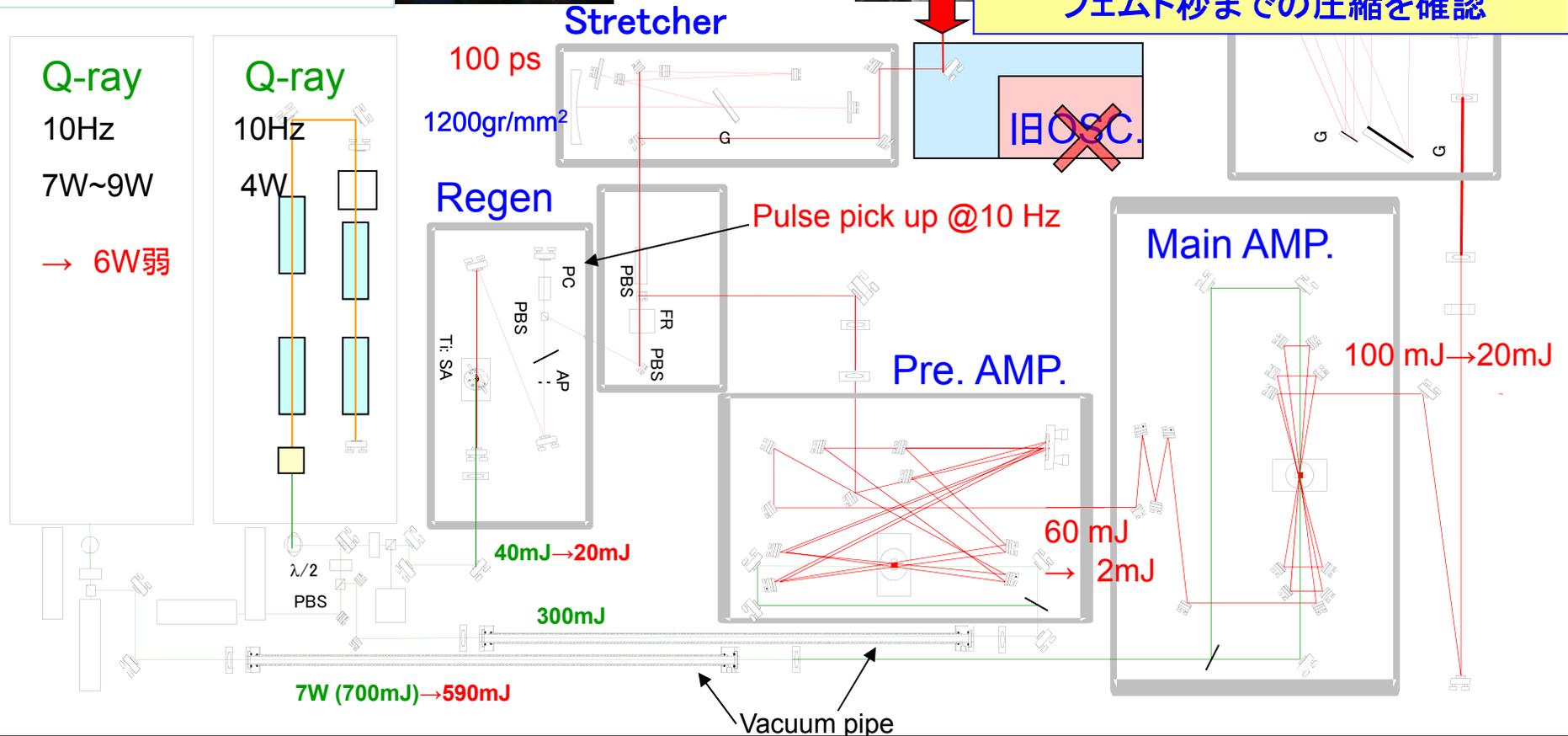
新OSC.



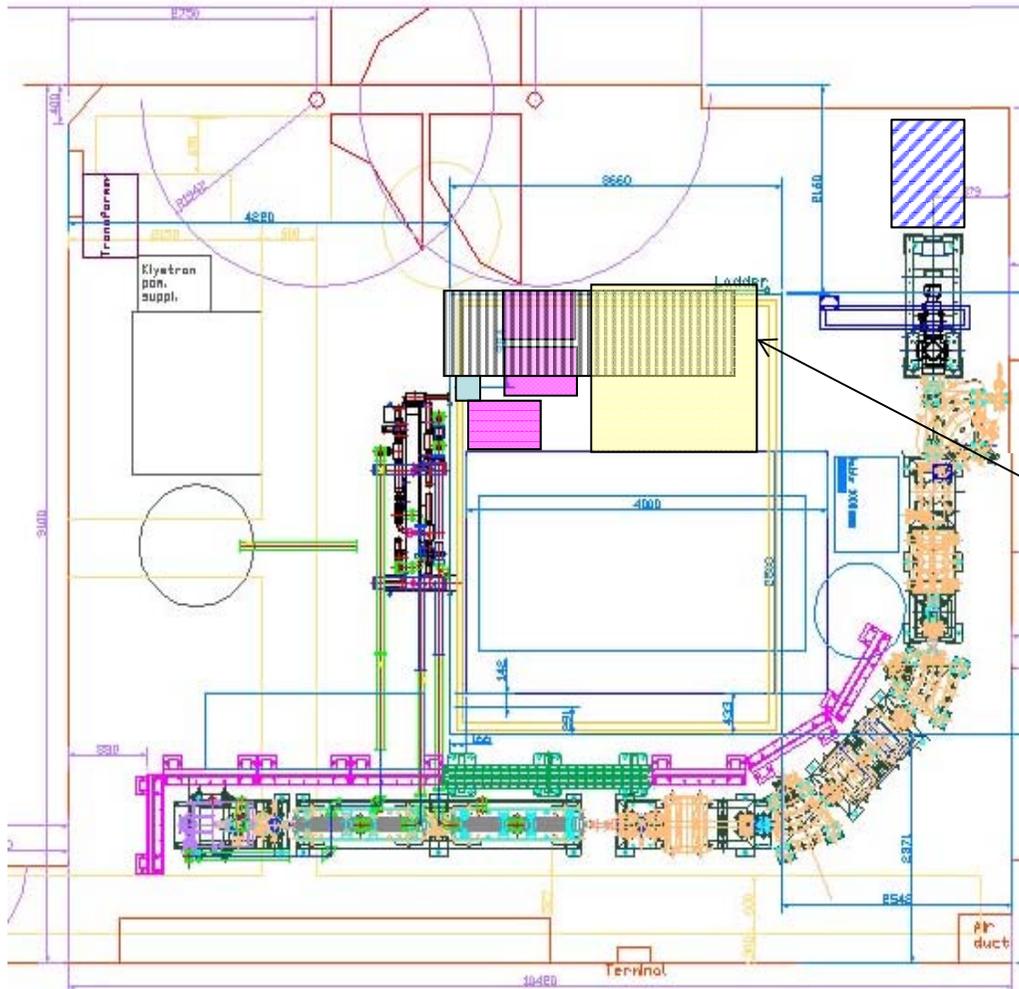
Compressor

1480gr/mm<sup>2</sup>

自己位相変調をモニターすることでフェムト秒までの圧縮を確認



## レーザーコンプトン散乱X線源の安定化 環境整備



本年度  
レーザー発振器用のク  
リーンブースに温調機  
能機を設置する  
(約300万)  
(設置費用等を含めた再見積価格)  
産総研における予算化 9/11

→現在入札準備中



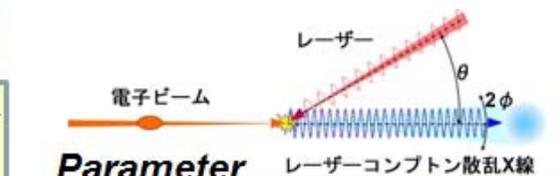
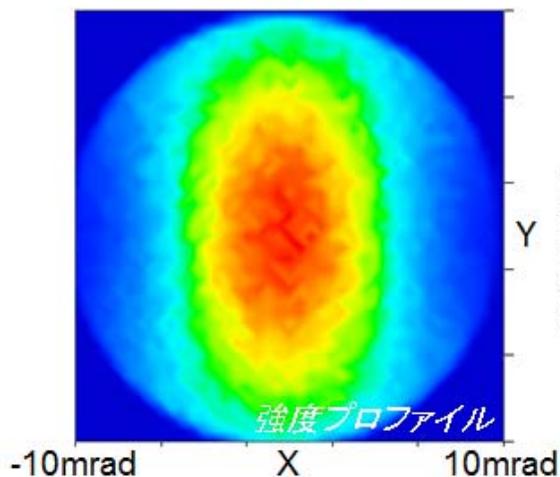
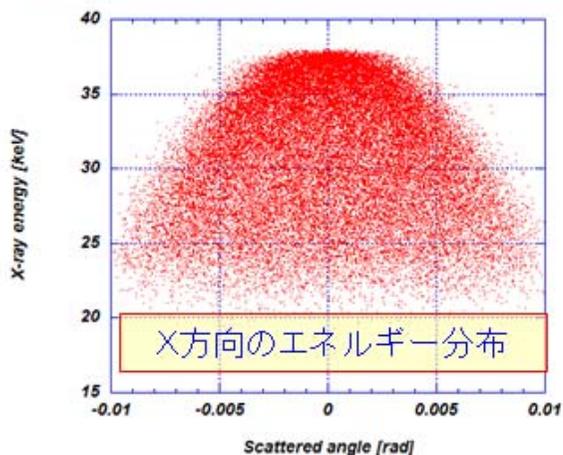
## ターボ干渉へむけたICS光源の評価

### LCS-X線のエネルギー分布

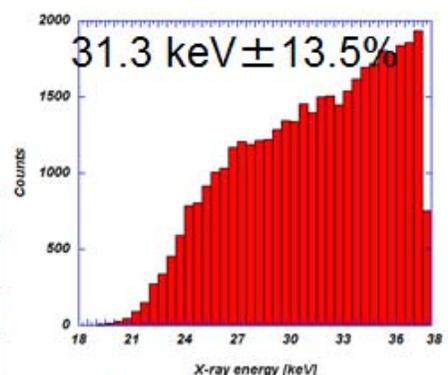
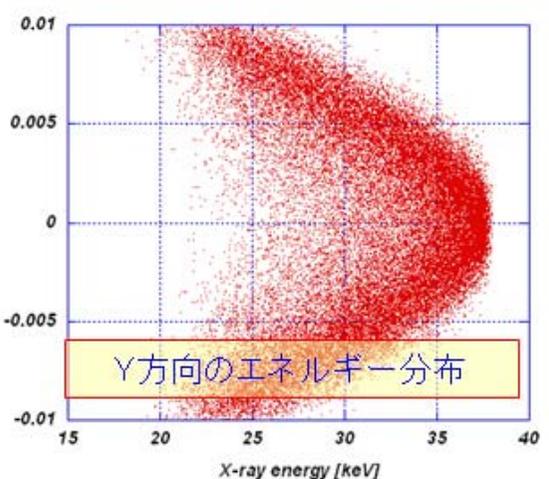
理論近似式:  $E_{\text{レーザーエネルギー}}, \gamma, \beta$  ローレンツ因子

X線最大エネルギー  $E_X^{\text{max}} = 2\gamma^2 E_L (1 + \beta \cos \theta)$

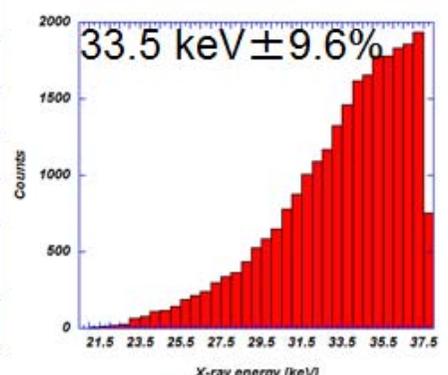
散乱角に対するエネルギー分布  $E_X(\phi) \cong \frac{1}{1 + (\gamma\phi)^2} E_X^{\text{max}}$



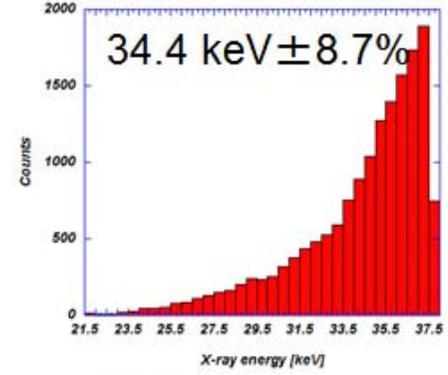
Parameter	
Electron energy	40 MeV
Energy spread (rms)	0.2 %
Electron charge	1 nC/bunch
Emittance	3 π mm mrad
Electron spot size ( $\sigma_x, \sigma_y$ )	40 μm
Electron bunch length	10 ps (FWHM)
Laser wavelength	800 nm
Wavelength spread (rms)	0.4 %
Laser spot size ( $\sigma_x, \sigma_y$ )	38 μm
Laser pulse width	10 ps (FWHM)
Collision angle $\theta$ (レーザーは水平偏光)	10 deg
Maximum X-ray energy	38 keV



±10mrad以内のエネルギー分布



±5mrad以内のエネルギー分布



±3mrad以内のエネルギー分布

今年度のスケジュール

