

LCS関係概要

照沼 信浩

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

- LCSのイントロ（いまさらですが）
- 光・量子融合連携研究開発プログラム
- **cERL以外**でのKEKにおける**LCS開発状況**

レーザーコンプトン散乱 Laser Compton Scattering (LCS)

微小光源 (~10

um)

Relativistic
Electron

γ

Laser

λ_L

ϕ

θ

Scattered
Photon

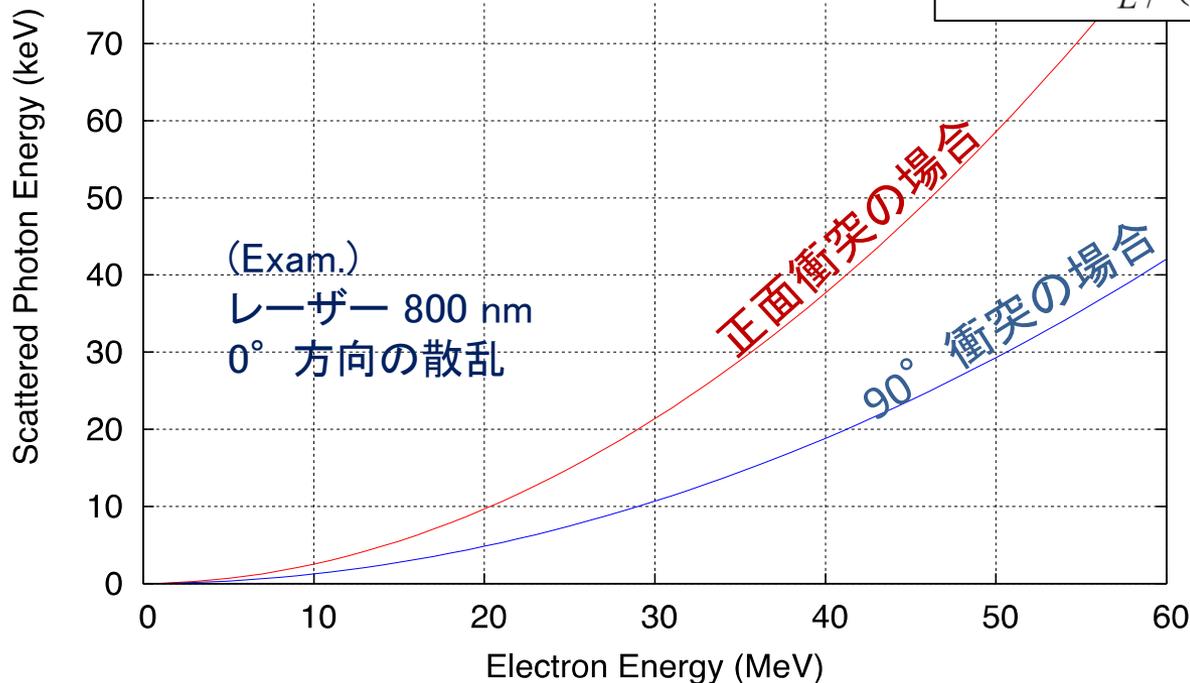
λ

エネルギー可変性

$$2\gamma^2 \cdot hc$$

$$E_x = \frac{2\gamma^2 \cdot hc}{\lambda_L / (\cos\phi + 1/\beta)}$$

準単色光



レーザー光



数十MeV電子ビーム
(小型加速器)



数十keV X線
(大型放射光に匹敵)

レーザー蓄積装置開発から小型高輝度X線源開発へ

- 科学研究費補助金 学術創成研究費

H17 年度~H21 年度

レーザー蓄積装置を活用した国際リニアコライダービーム診断技術に関する融合研究 (代表: 浦川)

- 文部科学省委託事業 量子ビーム基盤技術開発プログラム

H20 年度~H24 年度

超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発 (代表: 浦川)

- 文部科学省委託事業 光・量子融合連携研究開発プログラム

H25 年度~H29 年度

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

(代表: 浦川→照沼)

利 用 課 題

レーザー・放射光融合による光エネルギー変換機構の解明

中性子と放射光の連携利用によるタンパク質反応プロセスの解明

エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合研究

量子ビーム連携によるソフトマテリアルのグリーンイノベーション

中性子とミュオンの連携による「摩擦」と「潤滑」の本質的理解

実用製品中の熱、構造、磁気、元素の直接観察による革新エネルギー機器の実現

基 盤 課 題

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

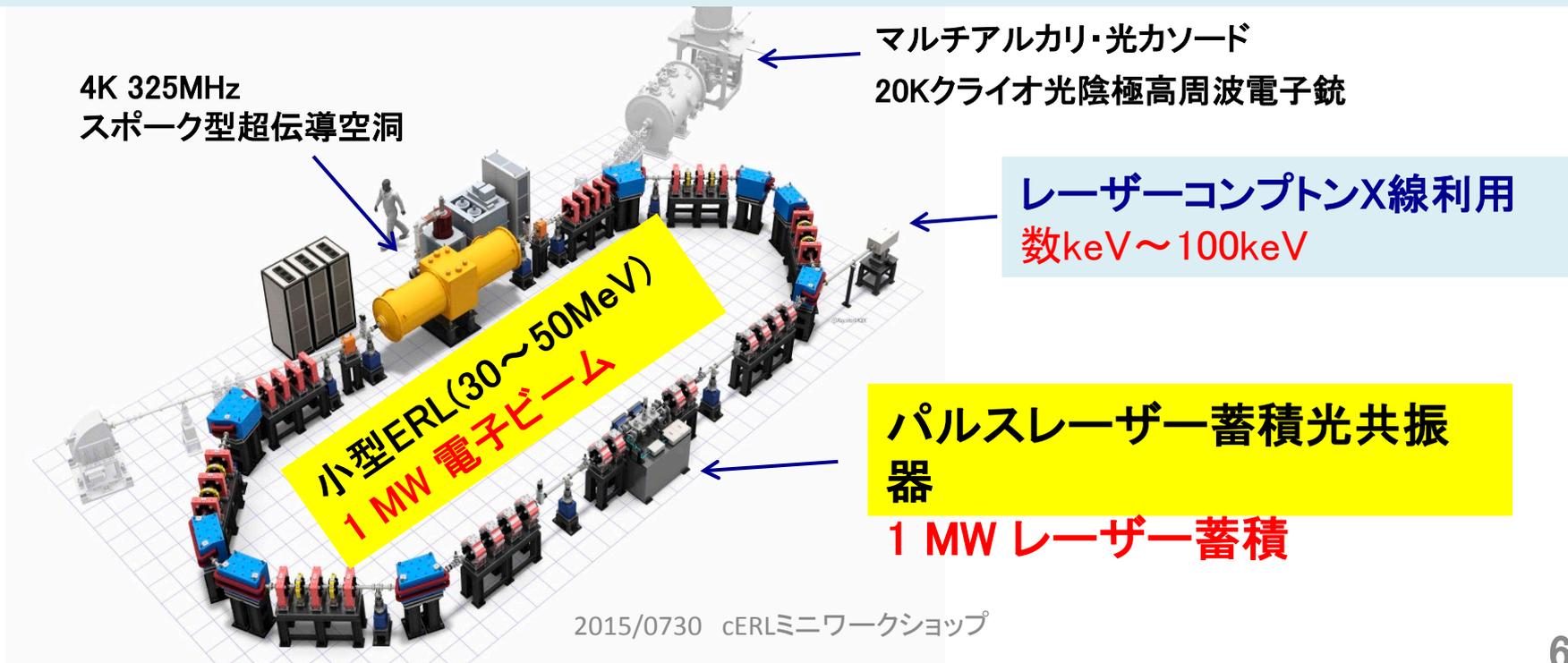
ものづくり現場で先端利用可能な小型高輝度中性子源システムの整備・高度化

極限レーザーと先端放射光技術の融合による軟 X 線物性科学の創成

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

数keVから100keVのX線領域の小型高輝度X線源に必要な**基盤技術開発**

- Peak Brightness: 10^{19} (photons/sec/mm²/mrad²/0.1%BW)
- 大型放射光施設に匹敵する小型光源として、フットプリント **8m x 6m 程度**の小型加速器を想定 → **大学・病院での利用**
- 参画機関: KEK(統括)、原機構、産総研、東北大、早稲田大、日大、京都大、広島大、(株)リガク



Goal??

H25申請書には、おそろしいことが書かれている。
これ以外に最終目標を書いたものは無い。

H29年度

「cERLでのICS光源運転、

Peak Brightness 10^{19} 、

平均 Brightness 10^{16} (Photons/sec/mm² mrad² in 0.1% b.w.)を
確認する。」

中間評価報告(8月末提出)で修正はかけるが。。。

KEKの加速器を利用する小型高輝度X線源開発

KEK小型電子加速器施設

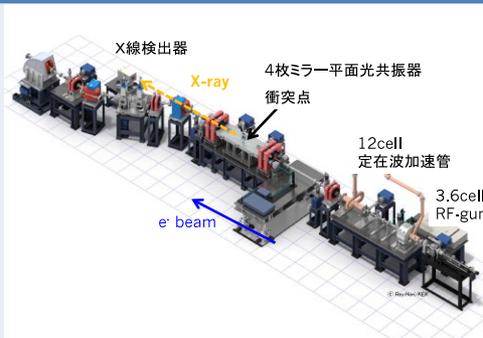
仕様

本課題とのかかわり

LUCX

小型常伝導電子線型加速器

(2013-19利用可)



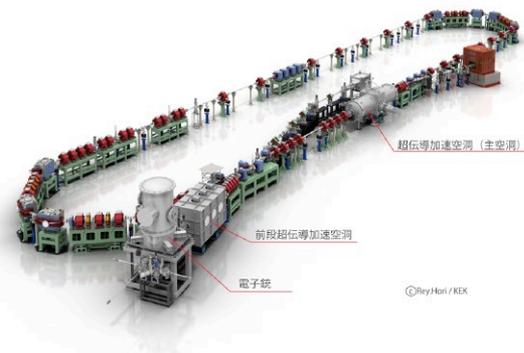
40 MeV,
12.5 Hz,
Max beam
power:
0.32 kW

- **1 MWパルスレーザー蓄積技術開発**
- **357 MHz, ~20um衝突技術開発**
- **X線イメージング技術等の開発**
- 年間を通して運転可能。

cERL

小型エネルギー回収型超伝導電子線型加速器

(2015-19利用可)



35 MeV,
10 mA,
Max: 350 kW

2015:
20 MeV,
0.1 mA→1mA,
Max: 20 kW

- **100 uA ~ 10 mA電子ビームによる高輝度X線生成技術開発**
- **X線イメージング技術等の開発**
- 利用研究の検討

その他

- ERL加速器技術開発 (cERLグループ)

STF

試験用パルス超伝導電子加速器

(2016-19利用可)



300 MeV,
10 mA,
5 Hz-1 ms
beam,
Max: 15 kW

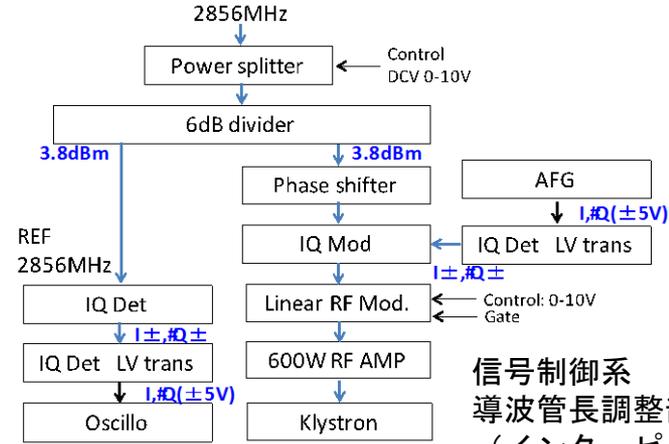
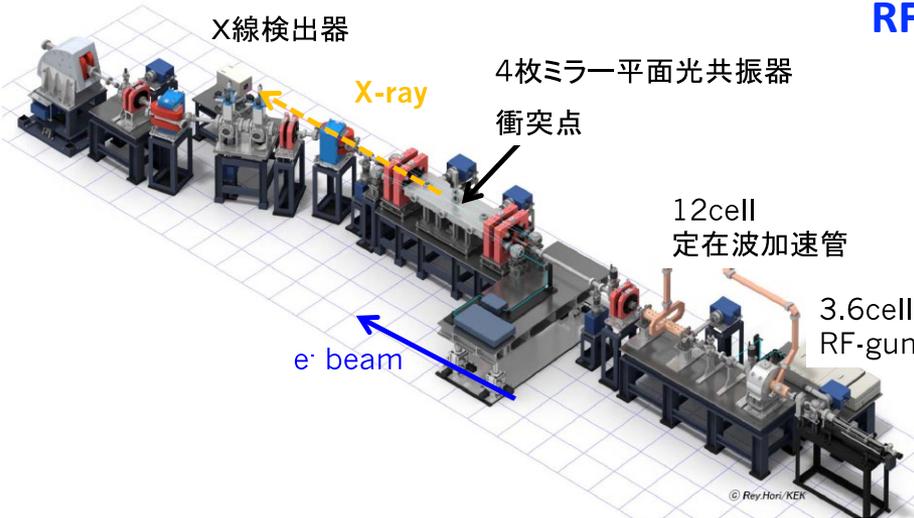
- **高エネルギーX線生成技術開発に使用できる(旧 光共振器の改造は必要)**
- 現在、60 → 300 MeVへ改造中。
- **2016年から運転再開を予定**

その他

- 超伝導高周波加速技術開発 (STFグループ)

小型常伝導線型加速器(LUCX)での電子ビーム開発

RF振幅変調によるエネルギー補正システムを導入



多バンチ・大電流化

2012年: 150 bunches, 90 nC

2013年: 300 bunches, 380 nC

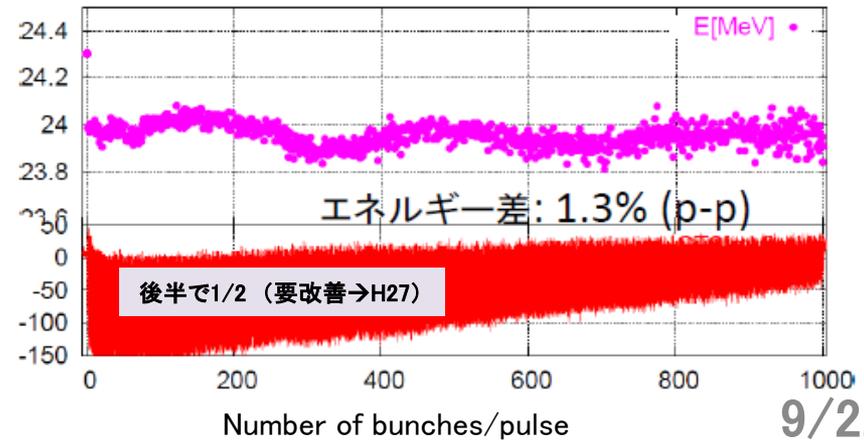
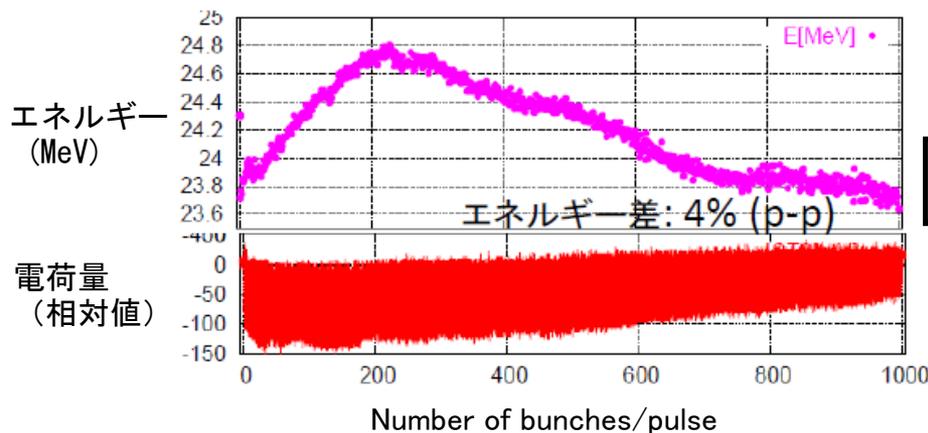
衝突のエネルギー拡がり条件を満たさないが、
1000 bunches, 450 nC

2014年:

1000 bunches, 600 nCを達成

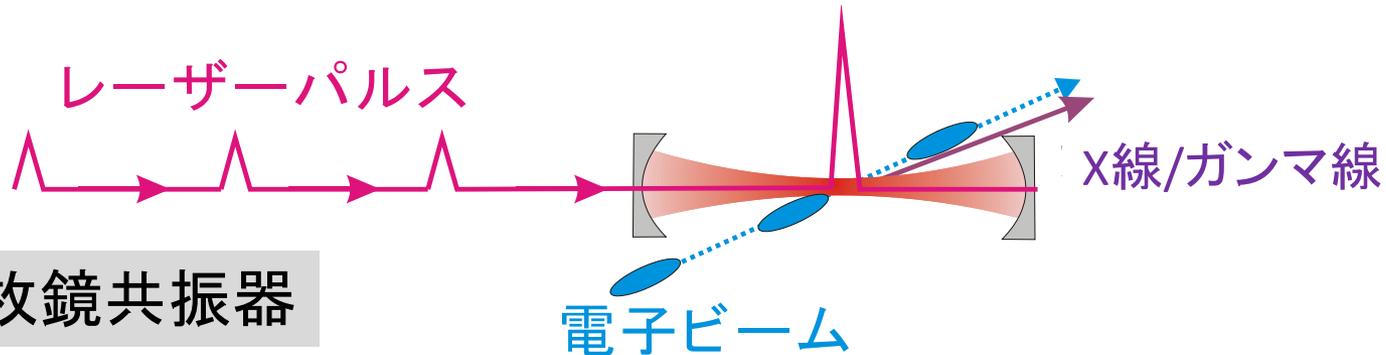
電子ビームエネルギー 1.3%(p-p): 衝突安定化

信号制御系
導波管長調整部品を調達
(インターピースなど)



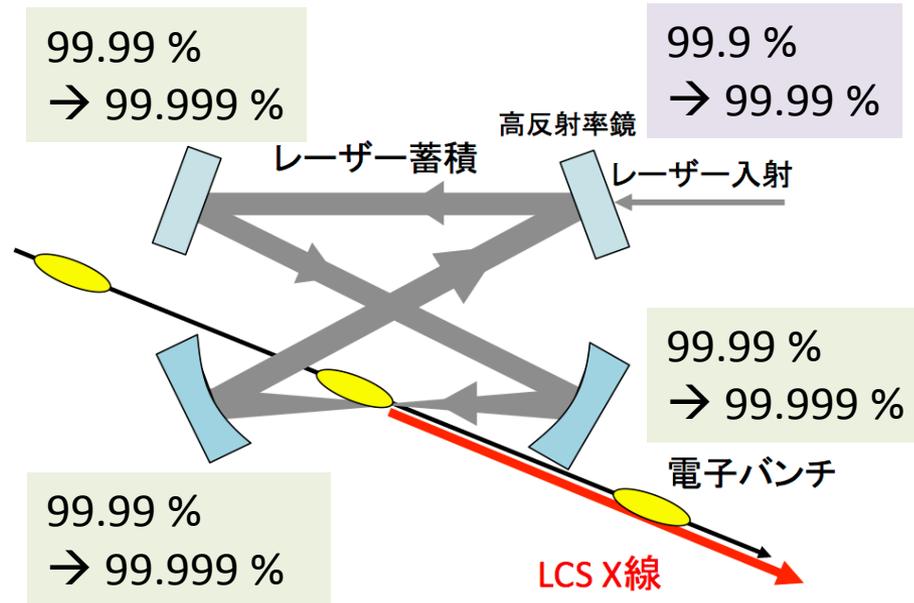
レーザー蓄積装置

高反射率ミラー光共振器: 入射レーザーの**1000倍以上**を蓄積
共振器長~レーザーパルス間隔~電子ビーム間隔



共振の安定化
高蓄積

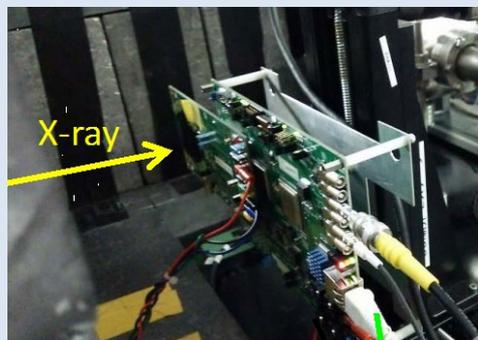
4枚鏡共振器



LUCX小型電子加速器でのLCS実験 2015/6

X線検出器

- HyPix-3000(リガク)
- SOIセンサー INTPIX4 (KEK)



INTPIX4
有効領域
18 mm X 18 mm
Pixel size 17um

電子ビーム

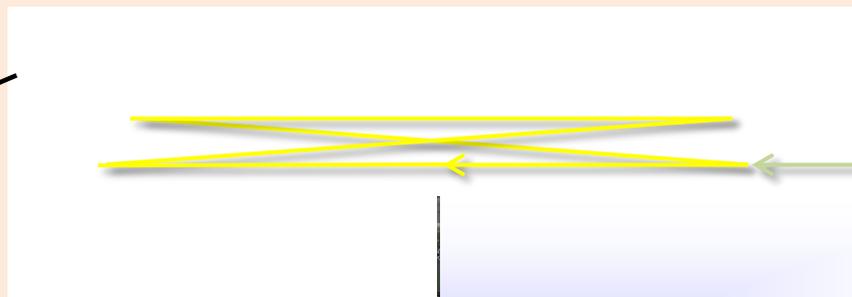
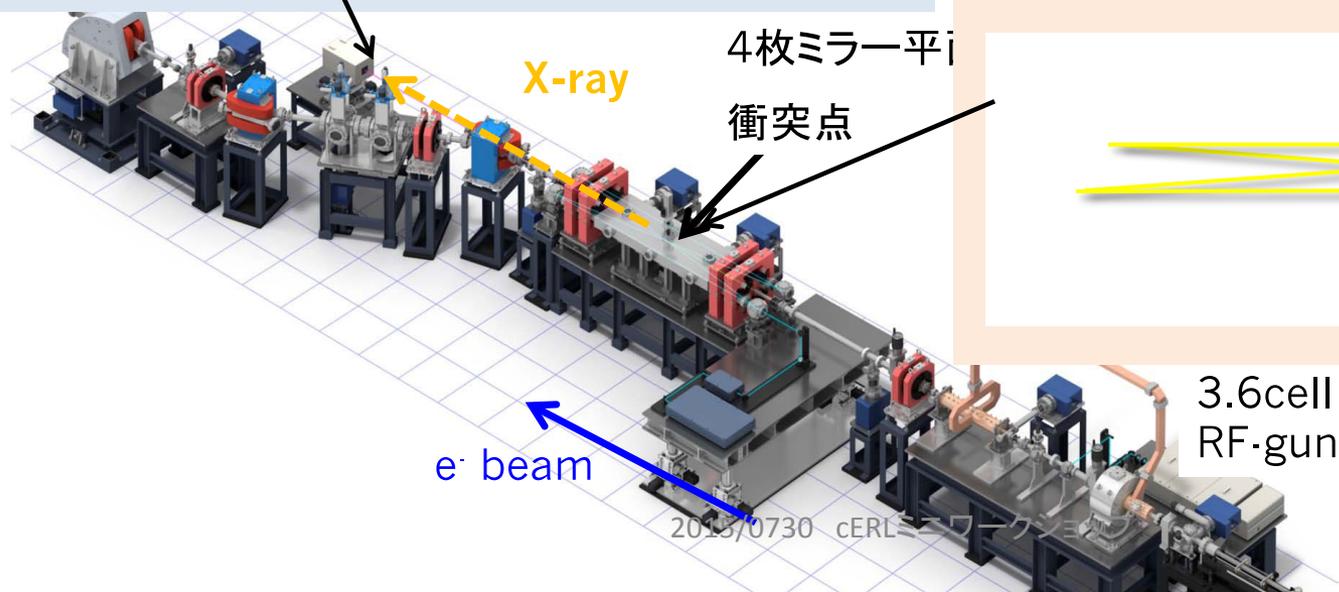
24 MeV, 700 bunch/pulse, 420 pC/pulse

レーザー蓄積光共振器

300 kW蓄積

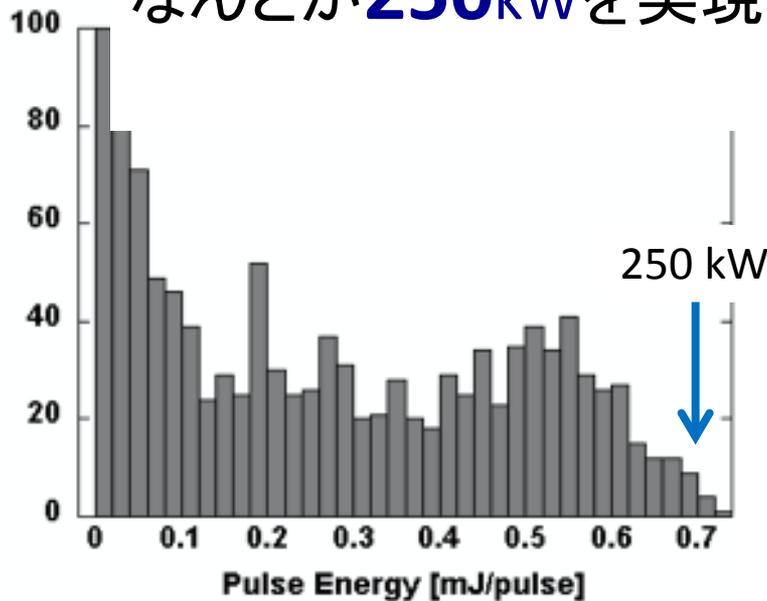
レーザーコンプトンX線 **10 keV**

10^8 photon/sec(発生点)が狙える



蓄積パワー安定化(途中)

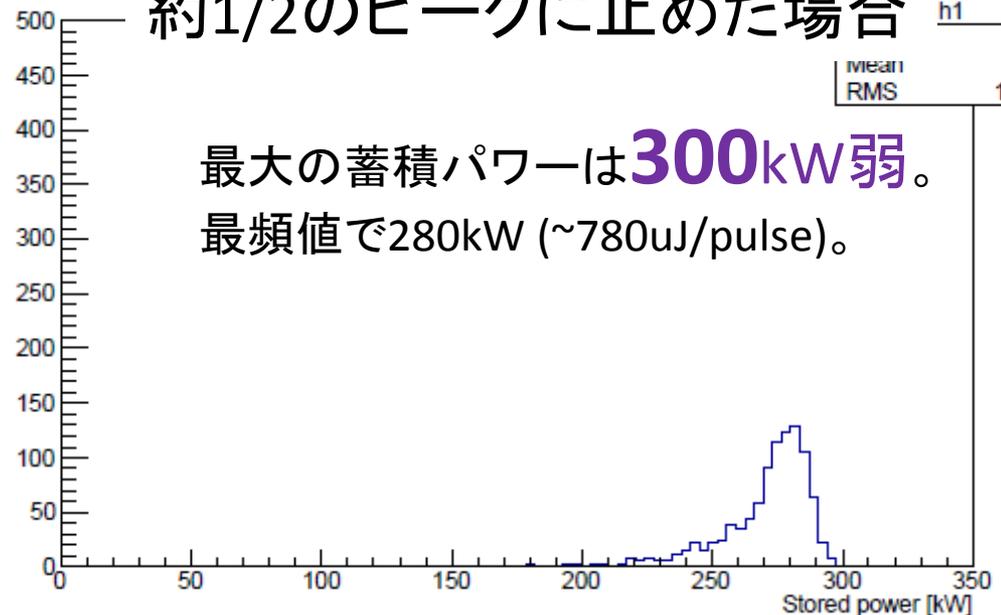
今年のレーザー蓄積
最大のピークに止めて
なんとか**250kW**を実現



現在

約1/2のピークに止めた場合

最大の蓄積パワーは**300kW弱**。
最頻値で280kW (~780uJ/pulse)。



ポッケルスセルはOFF

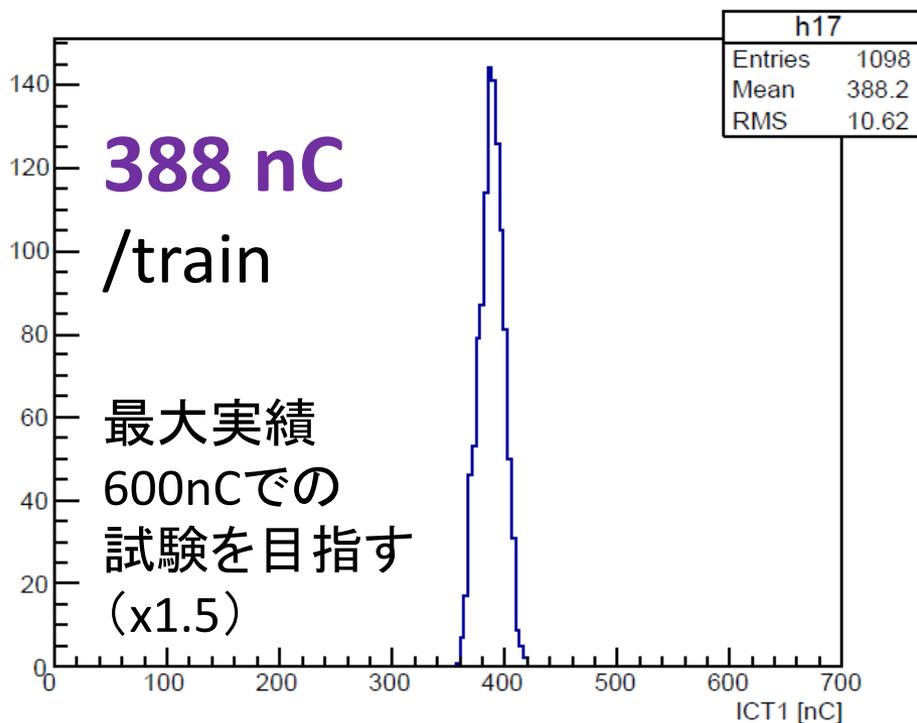
フィードバックの維持がまだ不安定。
隣のピークに移りやすくなっている。
5分くらいで移ることが多い。

6/24-25 X線イメージング試験における 電子ビームとレーザーの強度

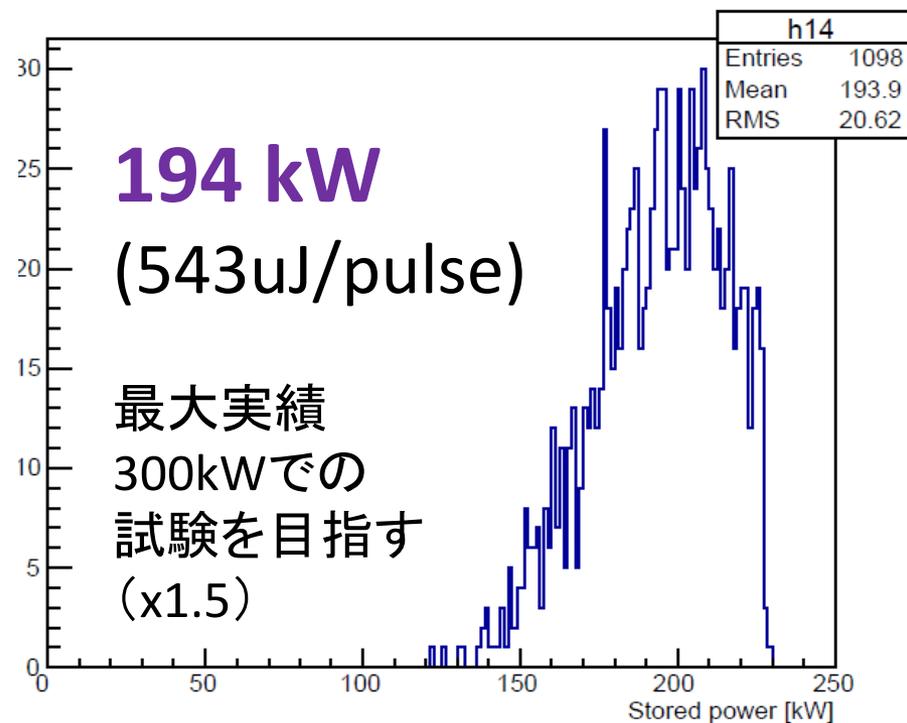
現状のイメージング状況の確認。

安定に測定を維持できるように強度を下げている。つまり、安定化対策はまだ不十分。

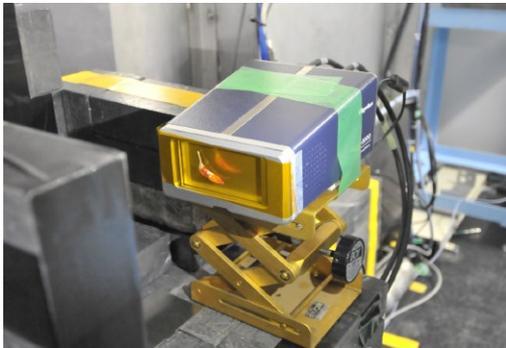
電子ビーム



レーザー



LUCXでのX線イメージング配置



X線検出器
HyPix-3000

X線検出器(可動式)
SOI: INTPIX4

発光点

4454mm

2158mm

2296mm

真空

大気

Be窓

Be窓

試料1
(等倍)

試料2
(拡大イメージング: 約2倍)

LUCX: HyPix-3000で測定したX線数

測定値: **1.13ph/sec/pixel** (1pixel = 100um²)

検出器に入る光子数で比べるとcERLより**5倍多い**
利用面で有利

- 発光点から検出器までの距離の違いによる (4.5 m vs 19 m)
- 実際は、発光点の強度では **cERL(5倍) >> LUCX**
- cERLでも加速器室内を利用できれば.....

Total band (衝突点での発生数): 8.94e5 ph/train
2.80e6 ph/sec (3.125Hz)

計算値:

HyPix-3000の場所での計算値: 4.697 photons/sec/pixel
1.503 photons/train/pixel

Total band (衝突点での発生数): 3.718e6 photons/train (Total band)
1.16e7 ph/sec (3.125Hz)

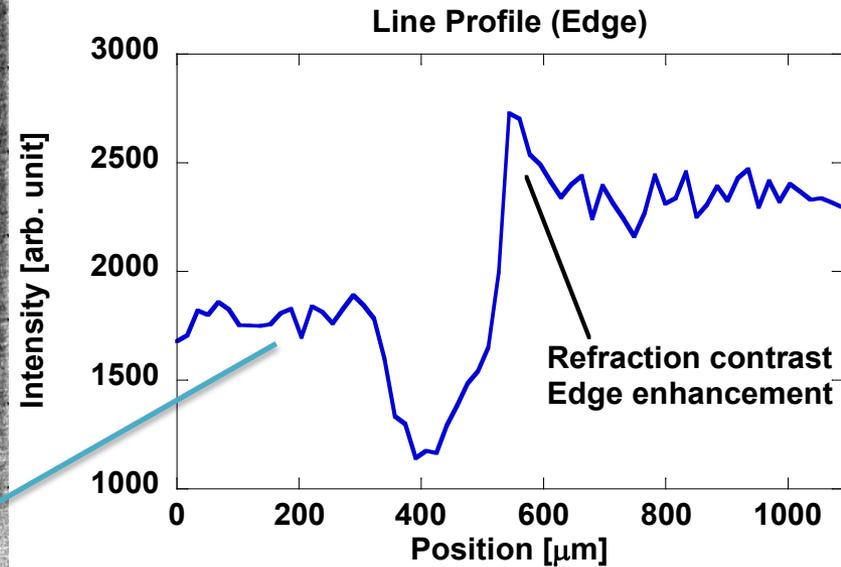
LUCX加速器 X線イメージング試験

SOIセンサー (INTPIX4)



有効領域
18 mm X 18 mm

Pixel size 17 μ m



撮像 10分

HyPix-3000: とうがらし

SOIとの比較のためにトウガラシを撮影。
屈折によるコントラスト強調が確認できる。

検出器直前



撮影時間: **300 sec**

検出器の2.16m上流

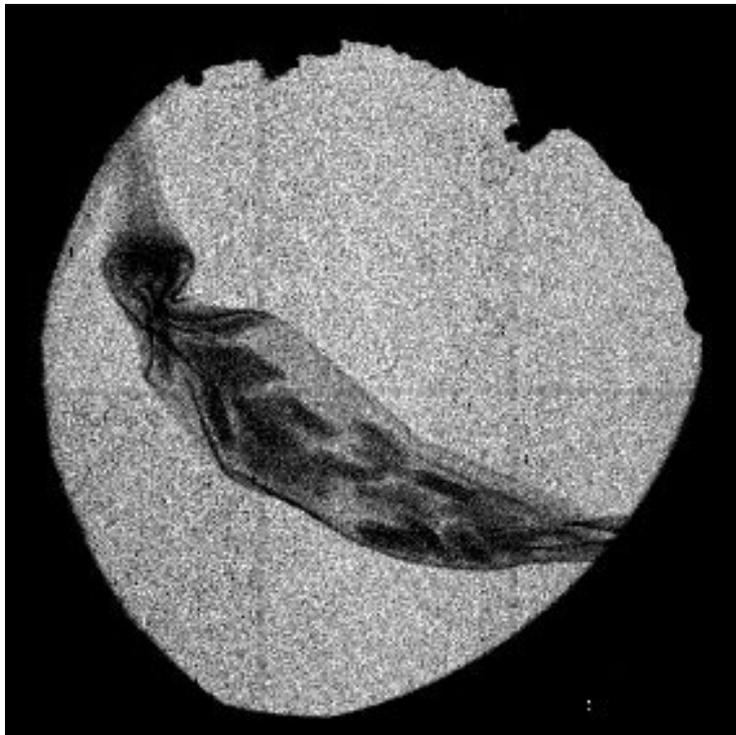


撮影時間: 280sec(途中でRFが落ちた)

Example: とうがらし

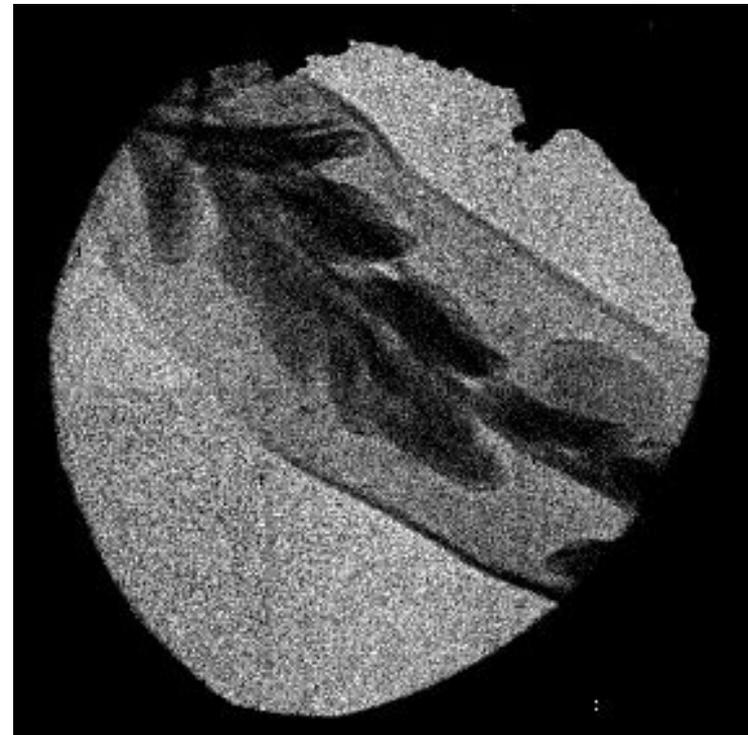
撮影時間が**1分**でもそこそこ見える。

検出器直前



撮影時間: 60sec

鉛コリメータの前(検出器の2.16m上流)



撮影時間: 60sec(途中で落ちたため)

スズメバチ : cERLと同じサンプル

検出器直前で測定。

照射面積が小さく(Be窓等で切られるため)全体は写せていない

X線エネルギーが高いため透過が強い

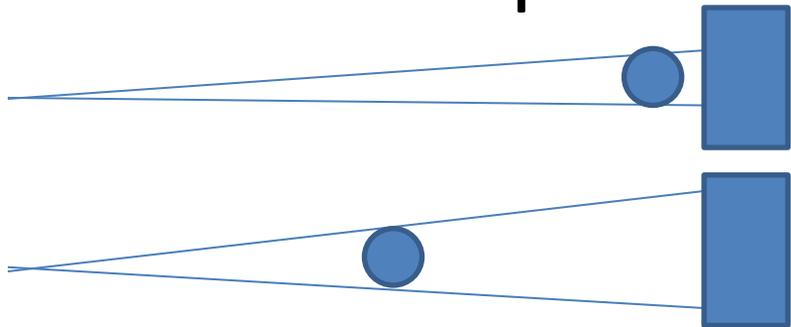


LUCX 10keV, 240 sec



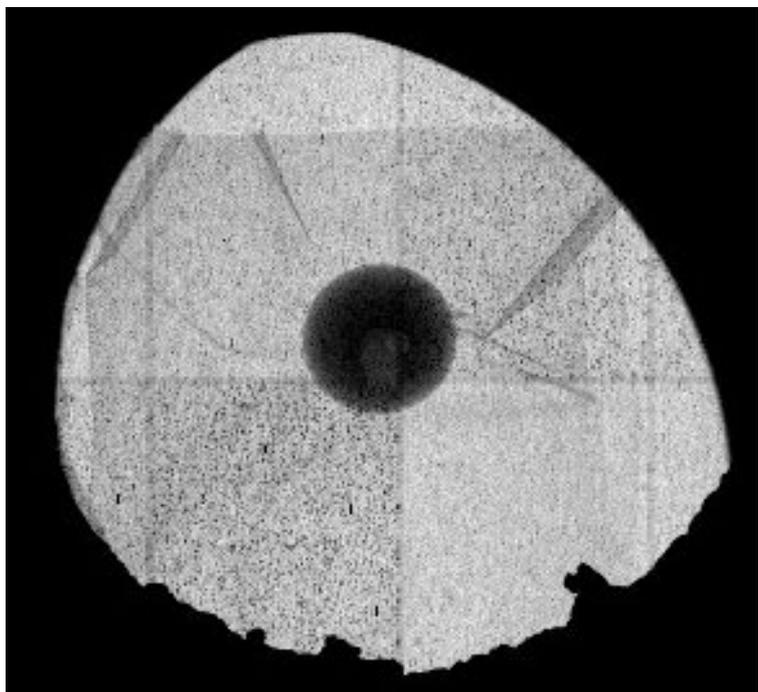
cERL 7keV, 620 sec

Example: Airsoft po



撮影時間は、それぞれ20min。弾の内部に空気穴がある。

検出器直前に設置

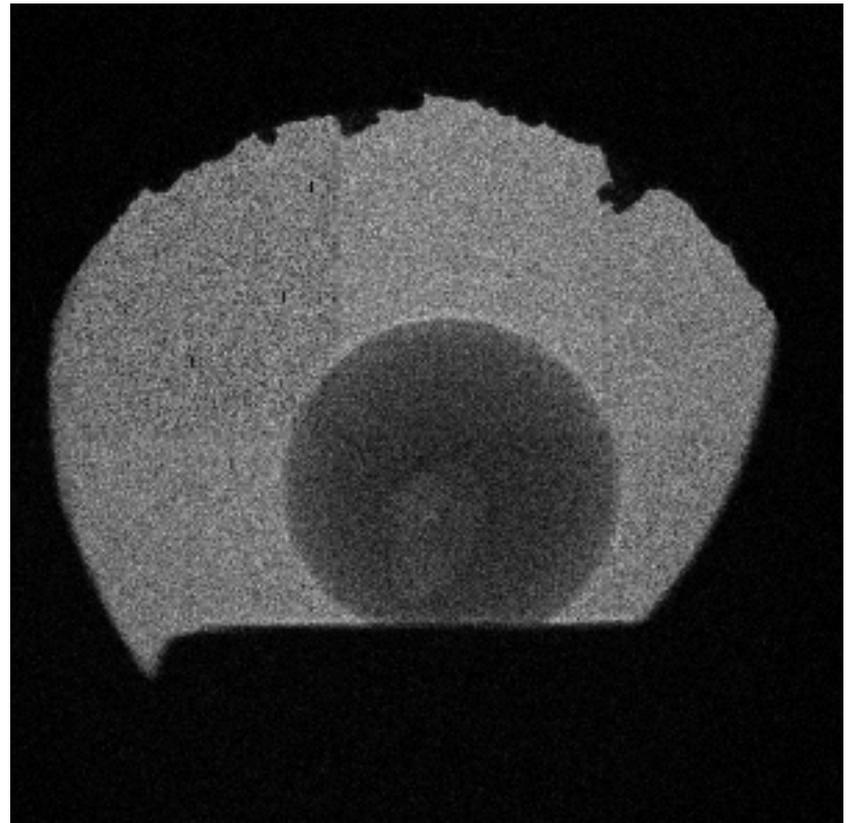
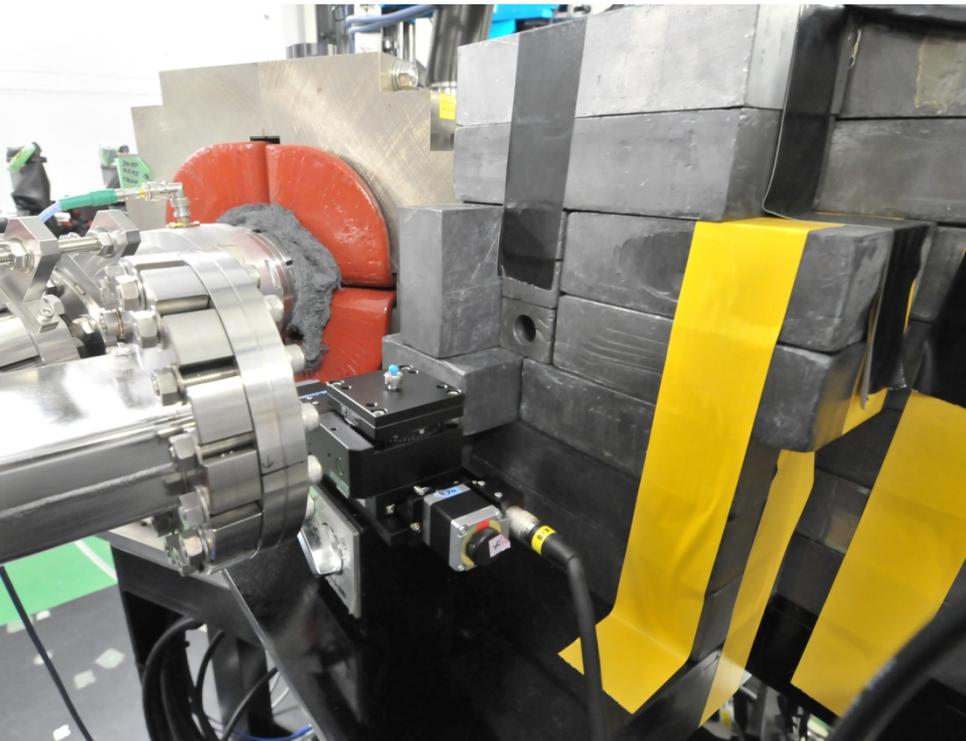


検出器の2.16m上流に設置



回転動画

BB弾を回転ステージに載せ、0-360degで 15deg毎に**1分間**撮影。



まとめと期待

- 数keVから100keVのX線領域での大型放射光施設に匹敵する**小型光源の可能性**
→ 将来、大学・病院での利用が期待されている
- 文部科学省委託事業 光・量子融合連携研究開発プログラム
「**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**」
- LUCX/cERL/STFを利用した基盤技術開発
- **もっともっと光を！** ... レーザー強度、電子ビーム強度、衝突サイズ
- ビーム実験時間の確保 ... 立ち上げ等の改善のためには？
- **cERLの優位性・利用価値を示せるか？**