

cERLでのLCS X線を用いた イメージング実験

第2回コンパクトERLミニワークショップ

KEK

2015年7月30日(木)

小菅 淳

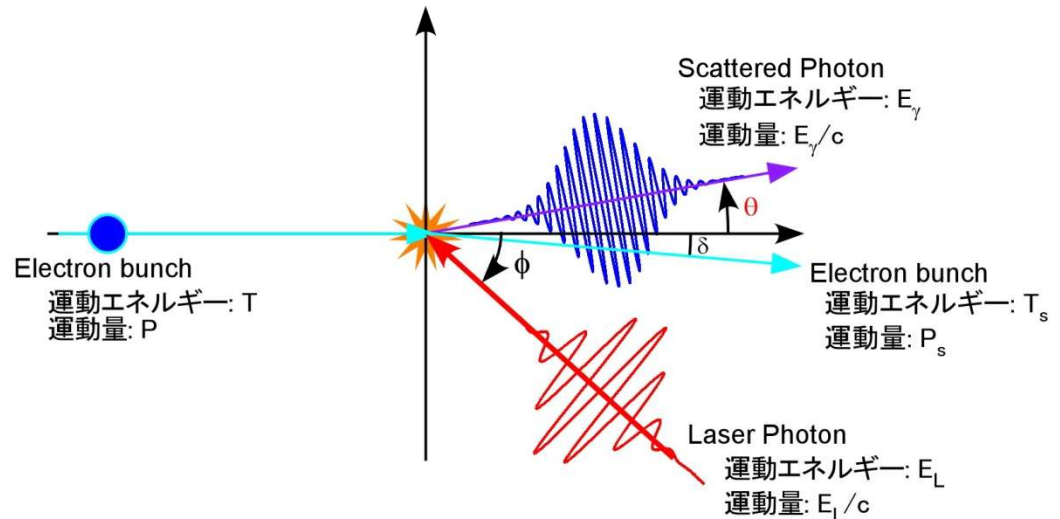
高エネルギー加速器研究機構

目的

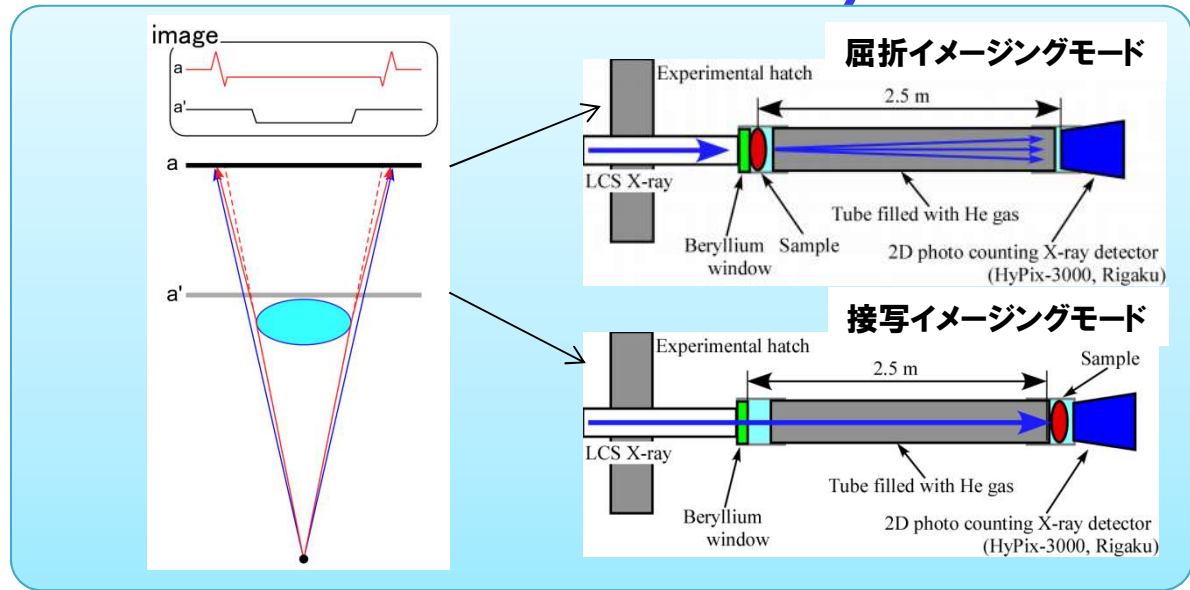
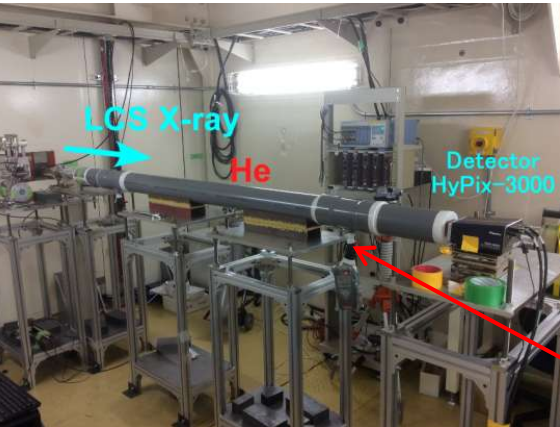
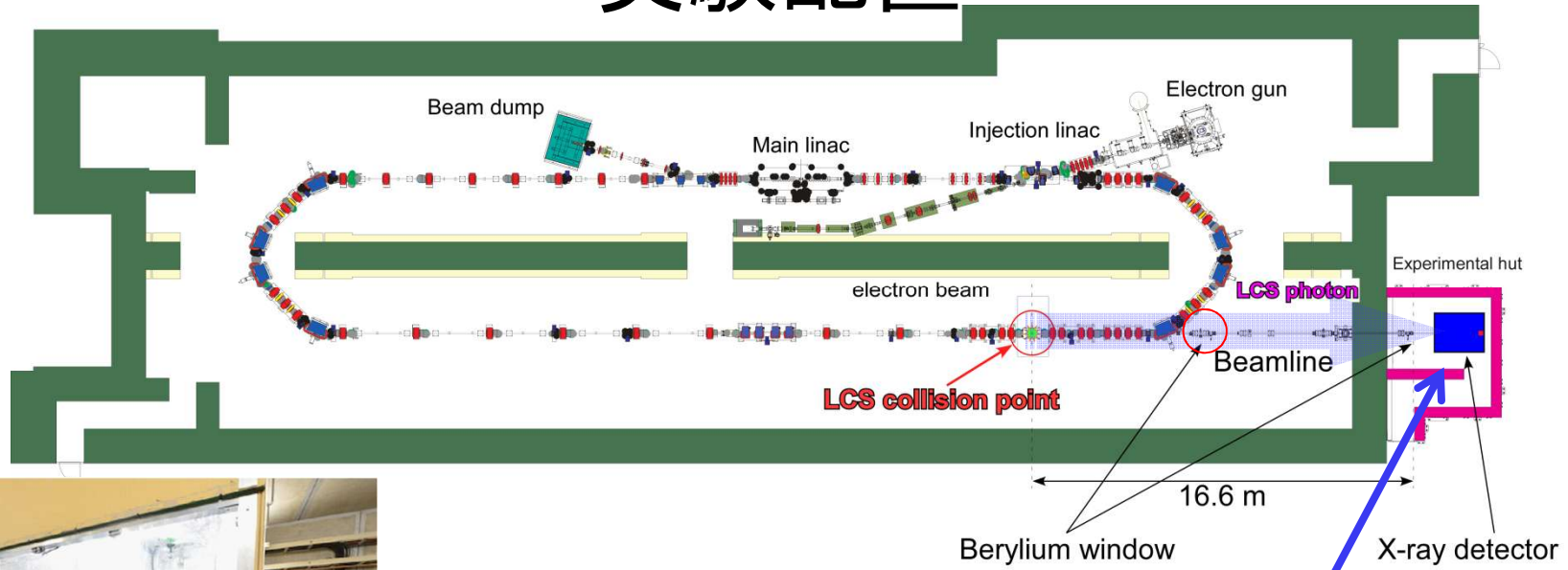
cERLでの20 MeV電子とCavity内に蓄積された光子によるレーザー・コンプトン散乱(LCS)により約7 keVのX線を発生させ、X線イメージング測定をおこなう。

Parameters of electron and laser beams

Intracavity Laser beam	
Center wavelength [nm]	1064
Pulse energy [μJ]	39
(Average power [kW])	6.3
Pulse duration [ps, rms]	5.65
Spot size [μm , rms]	30
Collision angle [deg.]	18
Repetition rate [MHz]	162.5
Electron beam	
Energy [MeV]	20
Bunch charge [pC]	0.46 (75. μA)
Bunch length [ps, rms]	2
Spot size [μm , rms]	30
Emittance [mm mrad, rms]	0.4
Repetition Rate [MHz]	162.5

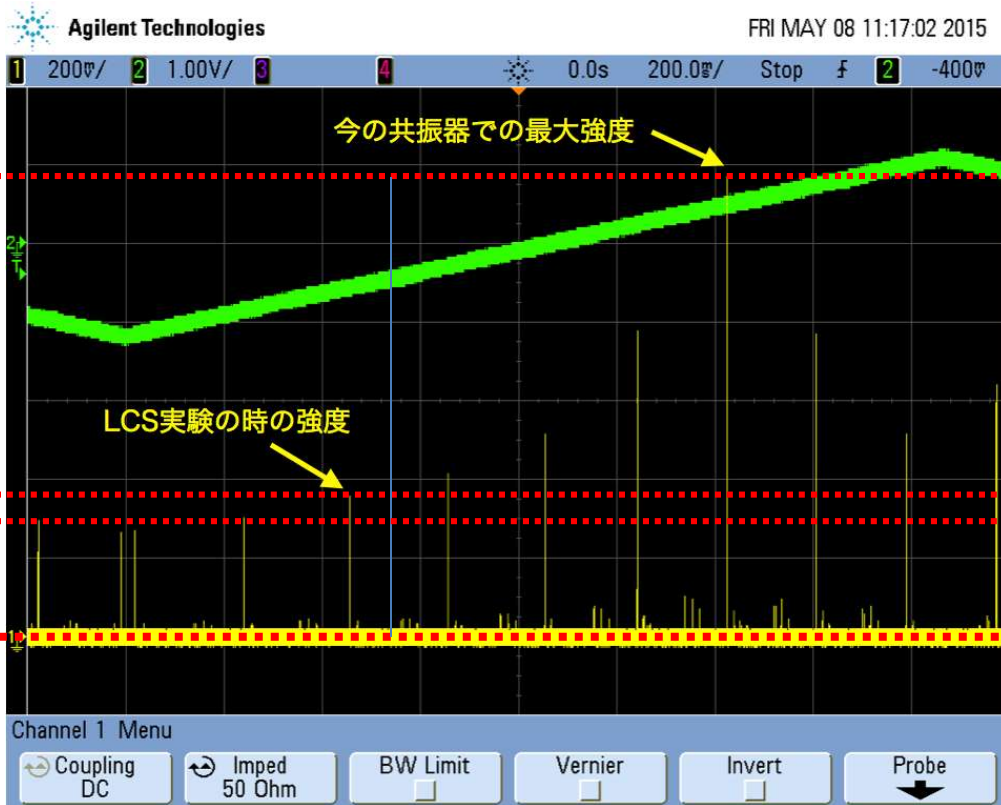


実験配置



He濃度計でHe濃度を測定
He濃度: ~ 70 % (透過率: ~27%)

共振器の共振ピーク



Injection laser power: 24 W

1.2V(31.2kW)
Enhancement factor:
1300

0.40V(10.4kW) ← 2015年4月
0.25V(6.3kW) ← 2015年6月

Base line

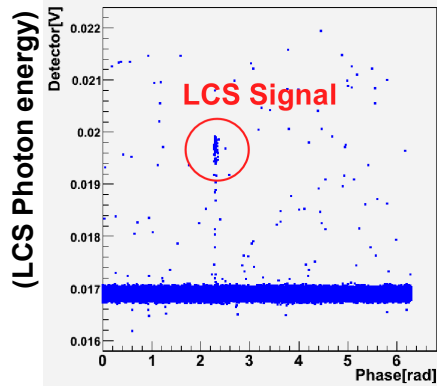
4月、6月の実験ではCavity lockの安定性を考え、一番高いピークでlockすることをおこなわなかった。

今後は一番高いピークでのCavity lockを目指す。

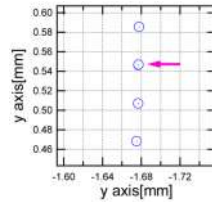
cERLでのイメージング実験

イメージング実験の前に、レーザーと電子の位置合わせと位相合わせをおこなった。

•LCS Signal(phase scan)

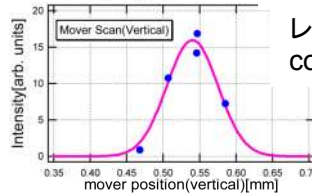


•Mover scan(Vertical)

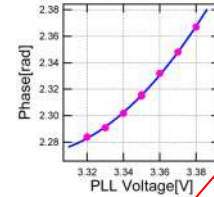


$\sigma = 35 \mu\text{m}$

レーザーと電子の
correlation幅に対応



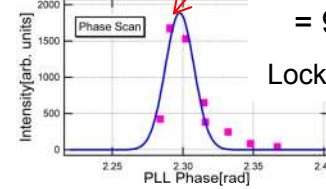
•Phase scan



実際にSDDで測定されたLCS Signal
を比較すると、レーザーパルス1パルス
当たりの信号量は4/3の43.5%

$\sigma = 0.0101 \text{ rad}$
= 9.9 psec

Lockの揺らぎに対応



•LCS X線の光量について

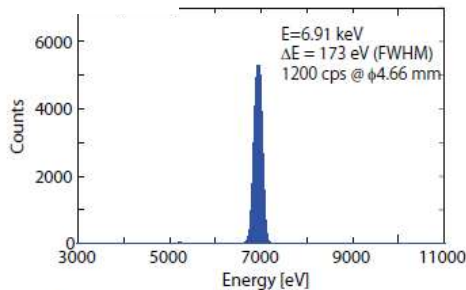
共振器内蓄積パワー: 10.4 kW(4/3) → 6.3 kW(60.7%)(6/25)

その他、cavity lockの精度が悪くなってしまったので、
衝突点でのPhoton fluxは半分程度だと推測される。

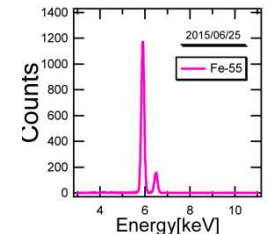
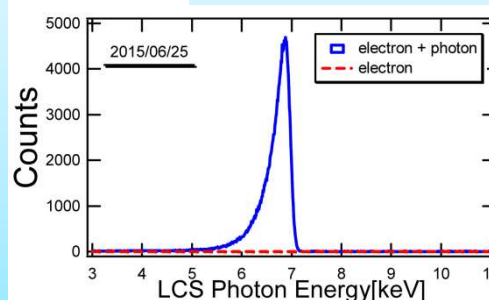
(4/3のPhoton fluxは、 4.3×10^7 photons/sec @衝突点)

•LCS X線スペクトルについて

2015/04/03

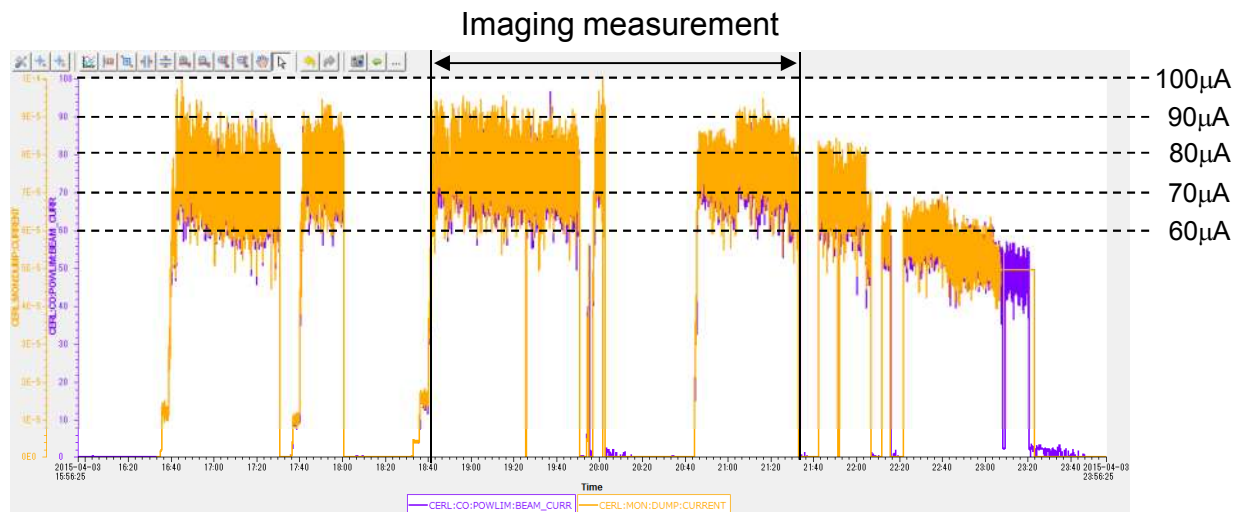


2015/06/25

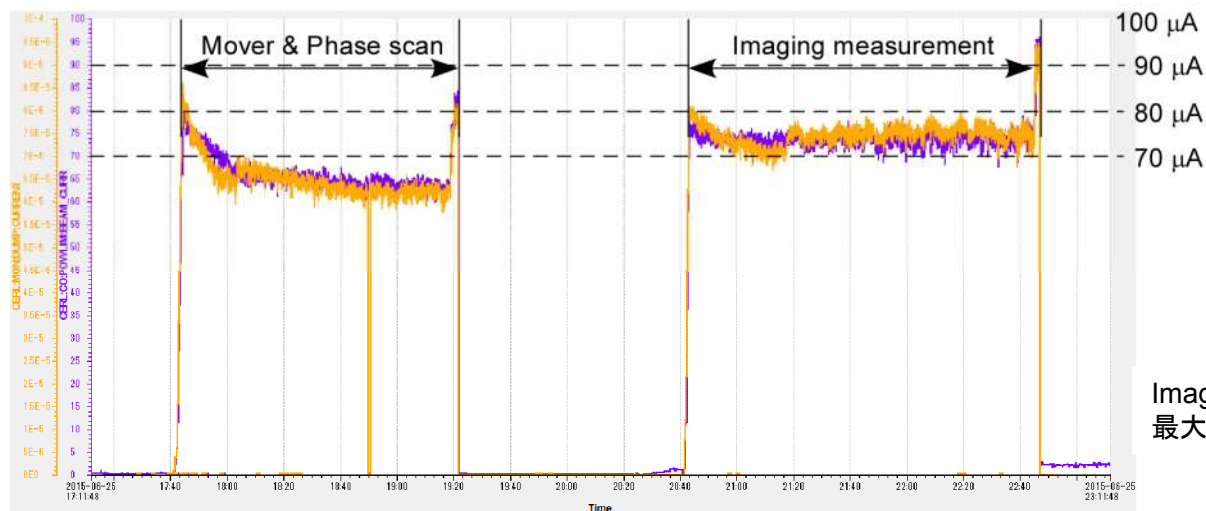


イメージング実験時のbeam current

•2015/04/03



•2015/06/25



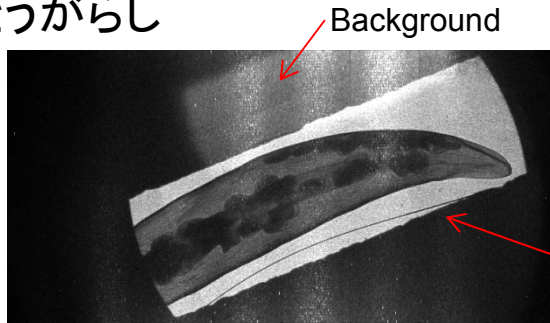
Imaging測定時は70μA以上、
最大90μAまで達成した。

cERLでのLCS X線イメージング実験結果 (2015/04/03)

とうがらし、桜、基板、スズメバチのイメージングをおこなった。

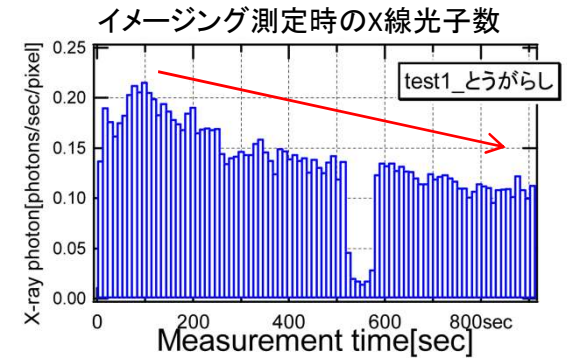
検出器は、リガク社製 HyPix-3000を使用。(1pixel = 100 μ m x 100 μ m)

•とうがらし

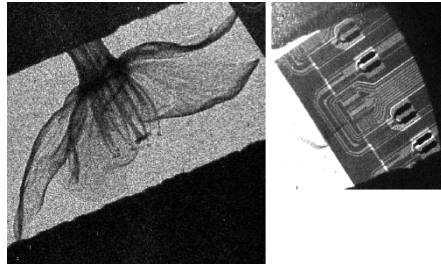


測定時間: 900sec
0.145 photons/sec/pixel

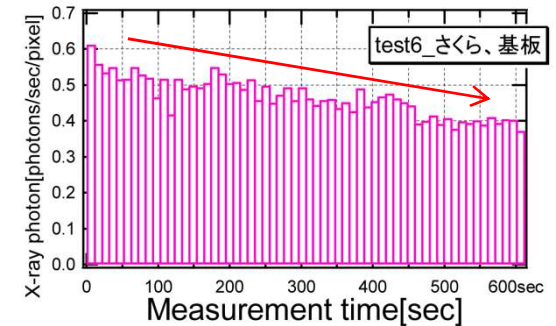
視野がBe窓の大きさで制限されている



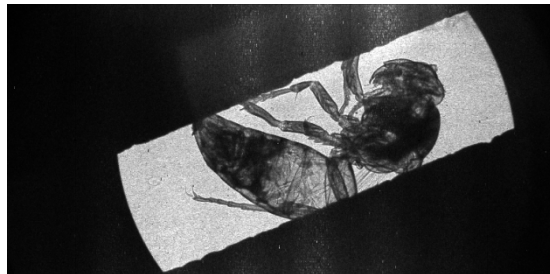
•さくら、基板



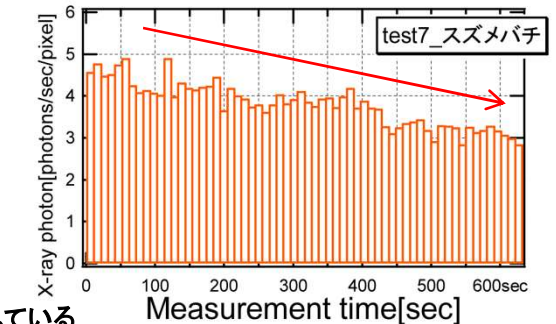
測定時間: 600sec
0.471 photons/sec/pixel



•スズメバチ



測定時間: 620sec
0.399 photons/sec/pixel

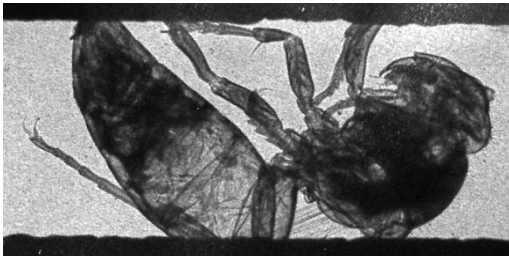


チューブ内のHe量が減少して
→透過率が下がり光量が減少している

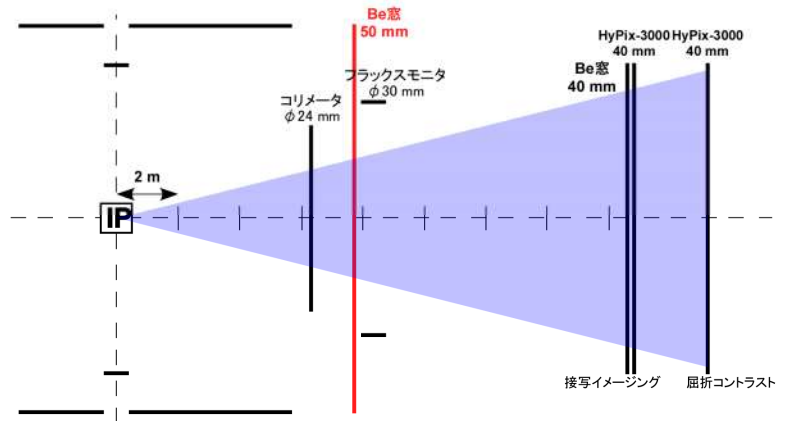
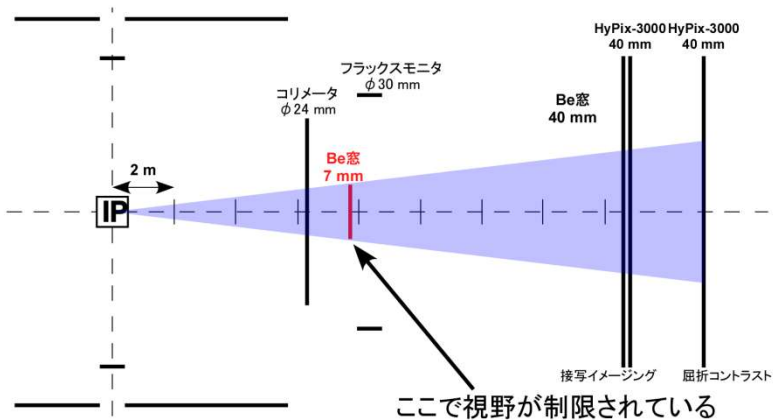
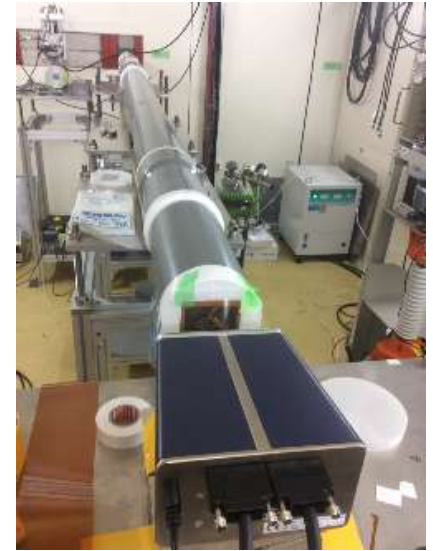
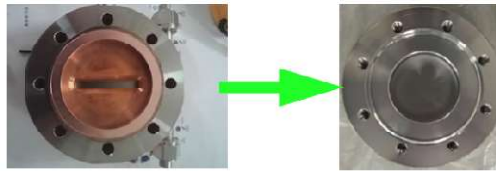
cERLでのLCS X線イメージング実験結果

4/3の測定ではBe窓によりイメージング像の視野が制限されている。
6/25日の実験にむけてBe窓の交換をおこなった。

前回のスズメバチのイメージング像



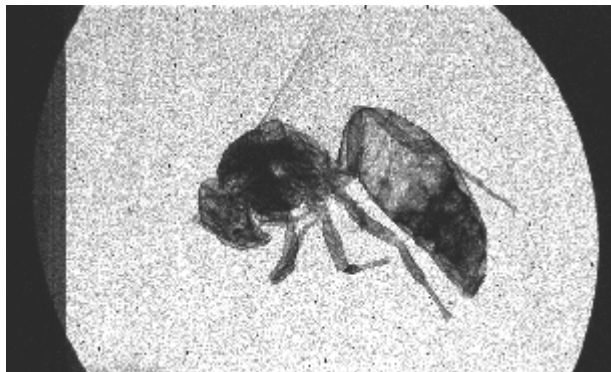
交換したBe窓



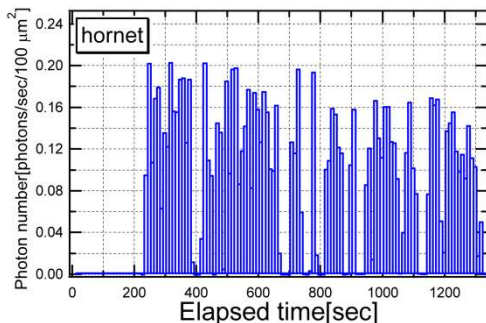
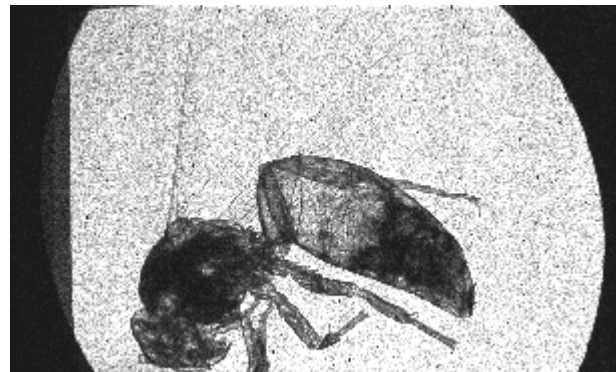
cERLでのLCS X線イメージング実験結果

2015/06/25

スズメバチの接写イメージング



スズメバチの接写屈折コントラストイメージング

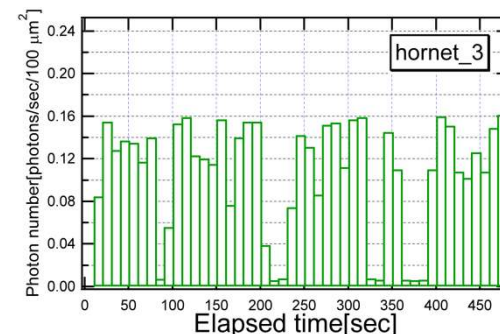


測定時間: 1330秒 = 約22分

Max. 0.2 photons/sec/pixel

Ave. 0.08 photons/sec/pixel

(lockが不安定ためAve.が低い)



測定時間: 480秒 = 8分

Max. 0.16 photons/sec/pixel

Ave. 0.11 photons/sec/pixel

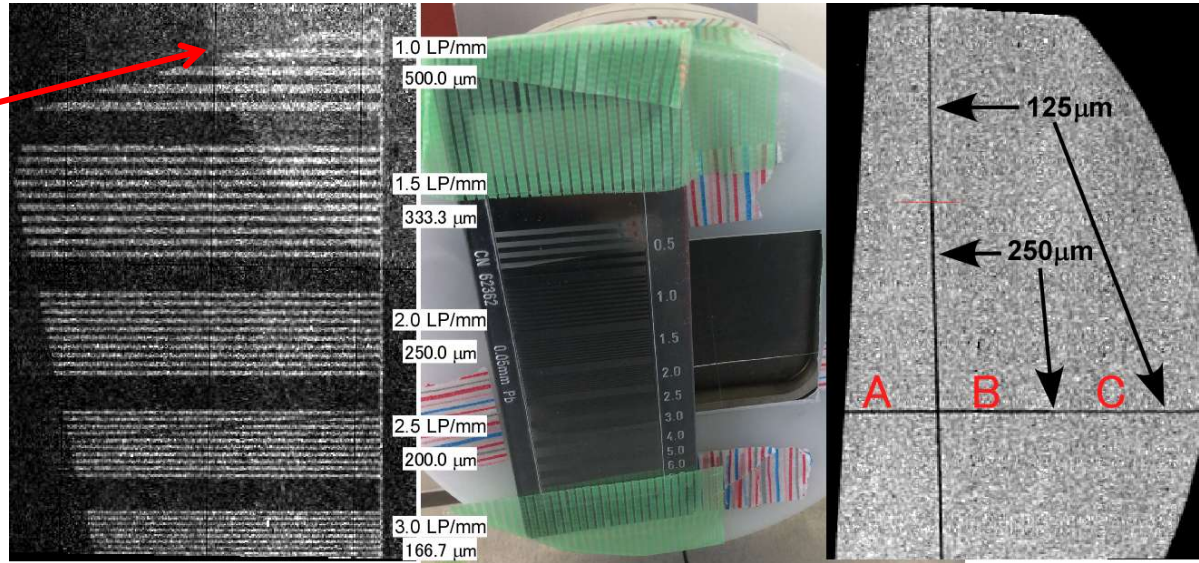
cERLでのLCS X線イメージング実験結果

2015/06/25

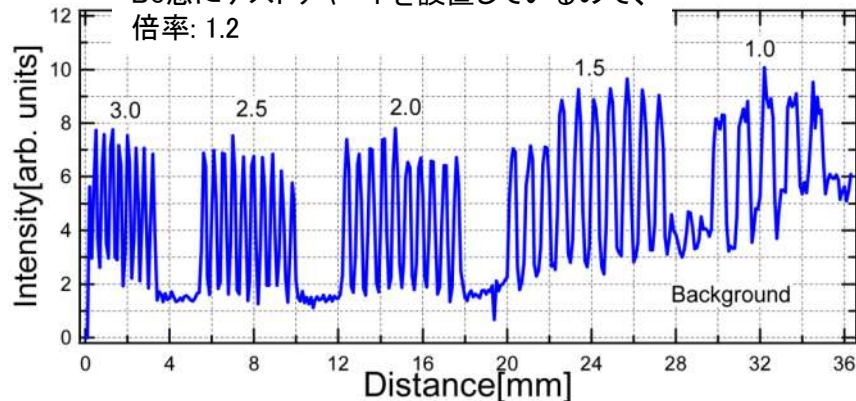
φ125 μmとφ250 μmのファイバー、X線用テストチャートのイメージング測定をおこなった。

測定時間: 13分

Background
 3×10^{-3} photons/sec/100mm²
LCS X線信号の10%以下

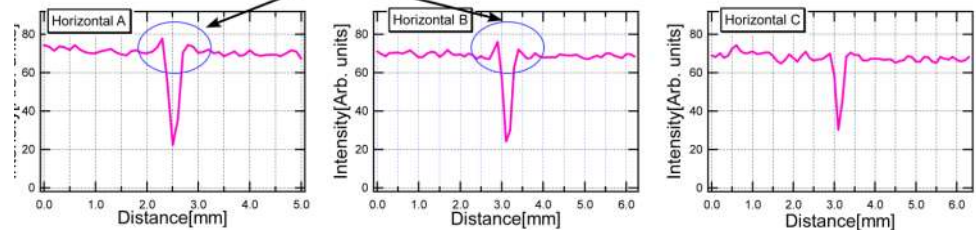


Be窓にテストチャートを設置しているので、
倍率: 1.2



検出器にピクセルサイズに依存した空間分解能で測定できている。(200 mm程度)

屈折コントラスト ファイバー (250μm, 125μm)

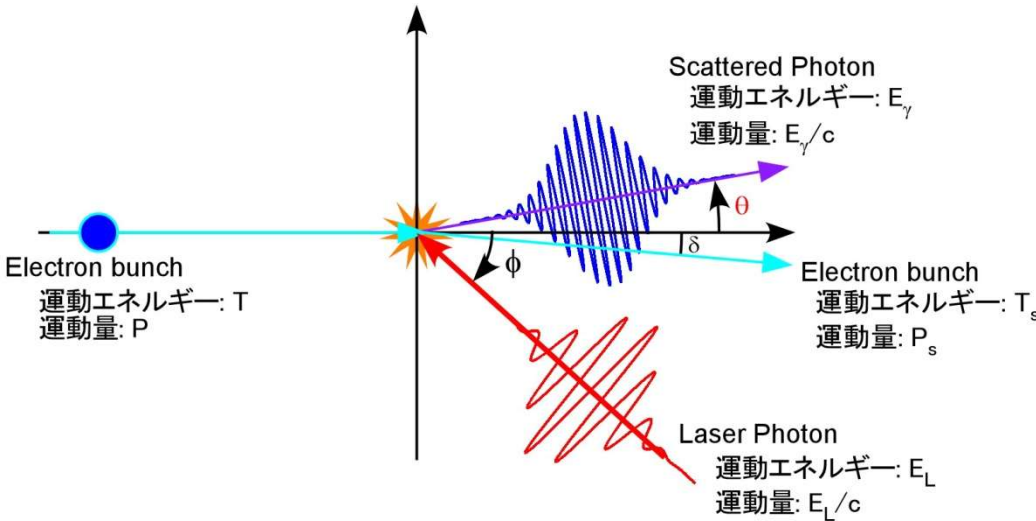


測定時間: 770秒 = 約13分

Max. 0.2 photons/sec/pixel

Ave. 0.08 photons/sec/pixel

Absorption Edge Imagingに向けたLCS X線エネルギーの可変性の観測



cERLでのLCS実験で期待される散乱光子エネルギー

- 電子エネルギー: **20 MeV**
- レーザー波長: **1064 nm (1.17 eV)**
- 衝突角: **18 deg.**

最大散乱光子エネルギー:
6.97 keV ($\theta = 0$: 電子と同軸方向)

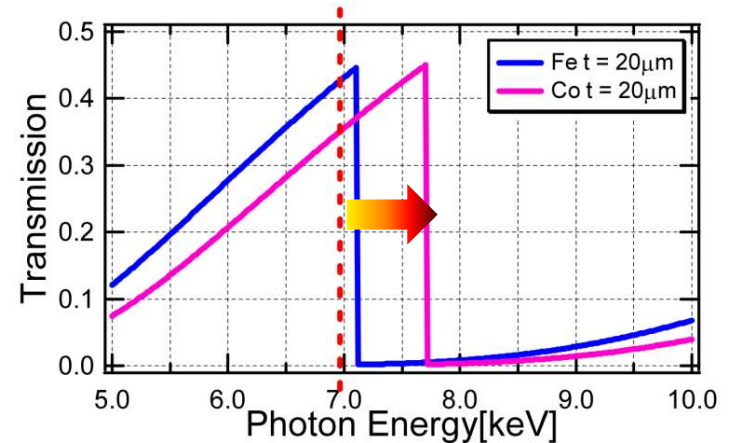
電子のエネルギーを上げることでLCS X線のエネルギーを上げることができる。
今後、物質の吸収端前後でイメージング測定をおこなう予定。

	electron	photon
運動エネルギー	T	$E_L = h\nu$
運動量	$\frac{\sqrt{T(T+2mc^2)}}{c}$	$\frac{E_L}{c} = \frac{h}{\lambda}$

散乱光子の光子エネルギー: $E_\gamma(\theta)$

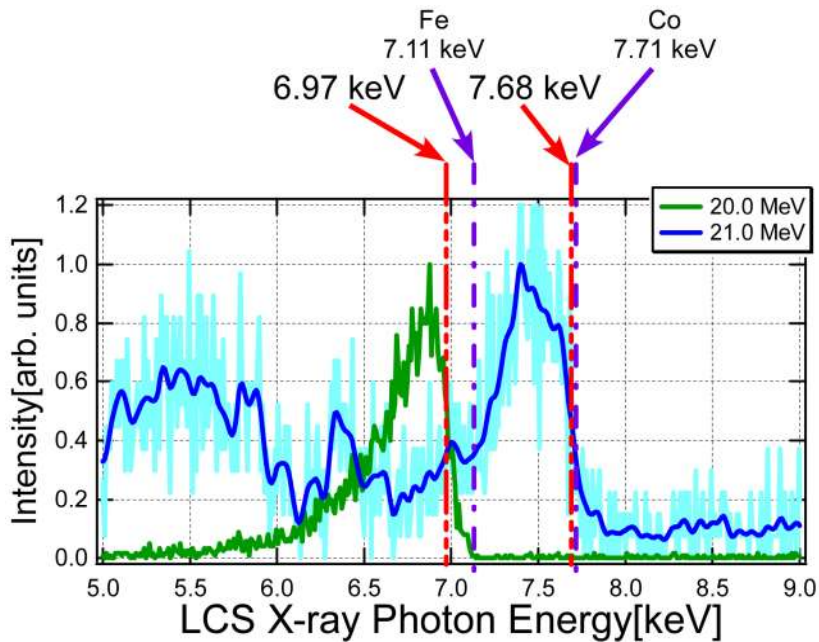
$$E_\gamma(\theta) = \frac{E_L(1 + \beta \cdot \cos \phi)}{1 - \beta \cdot \cos \theta + \frac{E_L}{(T + mc^2)} \{1 + \cos(\theta + \phi)\}}$$

散乱光子のエネルギーと散乱角度に相関がある



FeとCoの透過率特性

LCS X線エネルギーの可変性の測定結果



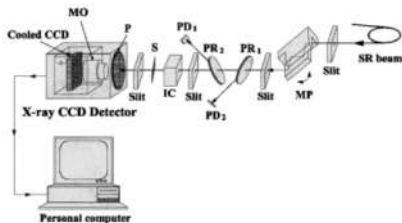
電子のエネルギーの上限(21.0 MeV)は、cERLの主空洞He 圧力で制限されている。

連続的にエネルギーを変えることはできなかったが、エネルギーを21.0 MeVまであげてCW運転を行い、LCS X線エネルギー測定を行った。その結果、Feの吸収端をまたいで**6.97 keV**から**7.68 keV**までLCS X線を発生させることに成功した。

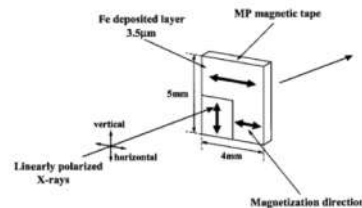
今後、LCS X線を用いてX線偏光コントラストイメージングができるか確認したい。(LCSの利点である偏光切り替えを活かすことができる。)

実験配置

検出器と偏光スイッチング光学素子で構成されている

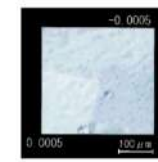
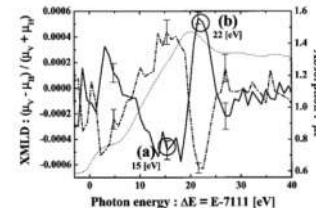


試料



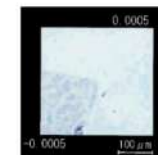
MP (Metaal Particulate) 塗布型磁気テープ
磁性層厚3.5µm

X線直線磁気二色性 (XMLD) スペクトル



(a)

磁気テープの磁化方向に起因するコントラストが見えている、とのこと。



(b)

まとめ

cERLでのLCS X線を用いて初めてイメージング実験をおこなった。

イメージング実験では、スズメバチ、とうがらし、さくら、テストチャートなど様々なサンプルのイメージング測定に成功した。

また、cERLの電子のエネルギーを変化させたときのLCS X線スペクトルを測定し、LCS X線のエネルギーが可変であることを確認した。

今後は、

- LCS X線の光量を上げるため共振器内の蓄積パワーの増大を目指す。
 - ➡ Cavity lockの精度を上げる。(共振器の最適化)
 - ➡ より高い蓄積パワーの条件で共振器をlockする。
- X線検出部のHe濃度を上げ、透過率が下がらないようにする。
- FeやCoなどの吸収端付近でのイメージングをおこない、X線偏光コントラストイメージングをおこないたい。