

cERLでのLCS X線を用いた イメージング実験

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」

第12回全体会議

広島大学

2015年7月7日

小菅 淳

高エネルギー加速器研究機構

本全体会議までにおこなったこと

共振器のレーザーによる温度上昇を抑えるため、共振器にサーマルアンカーを追加した。

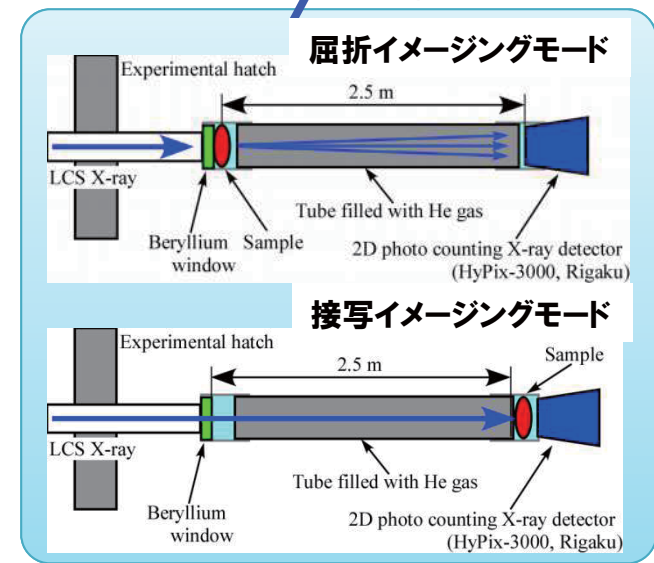
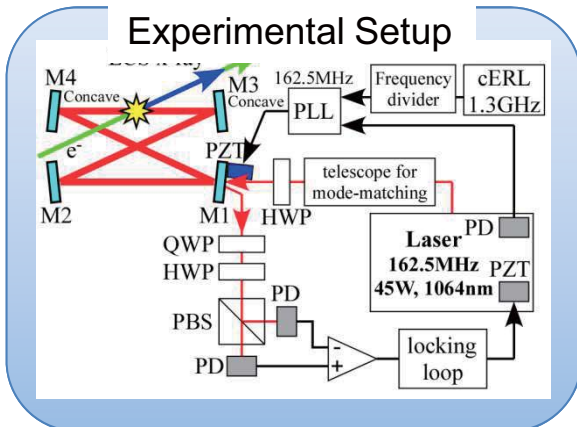
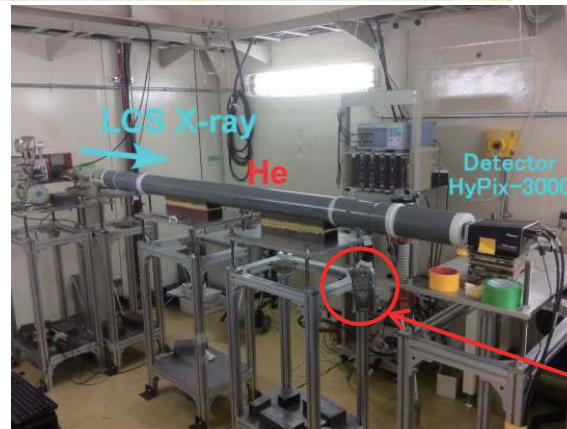
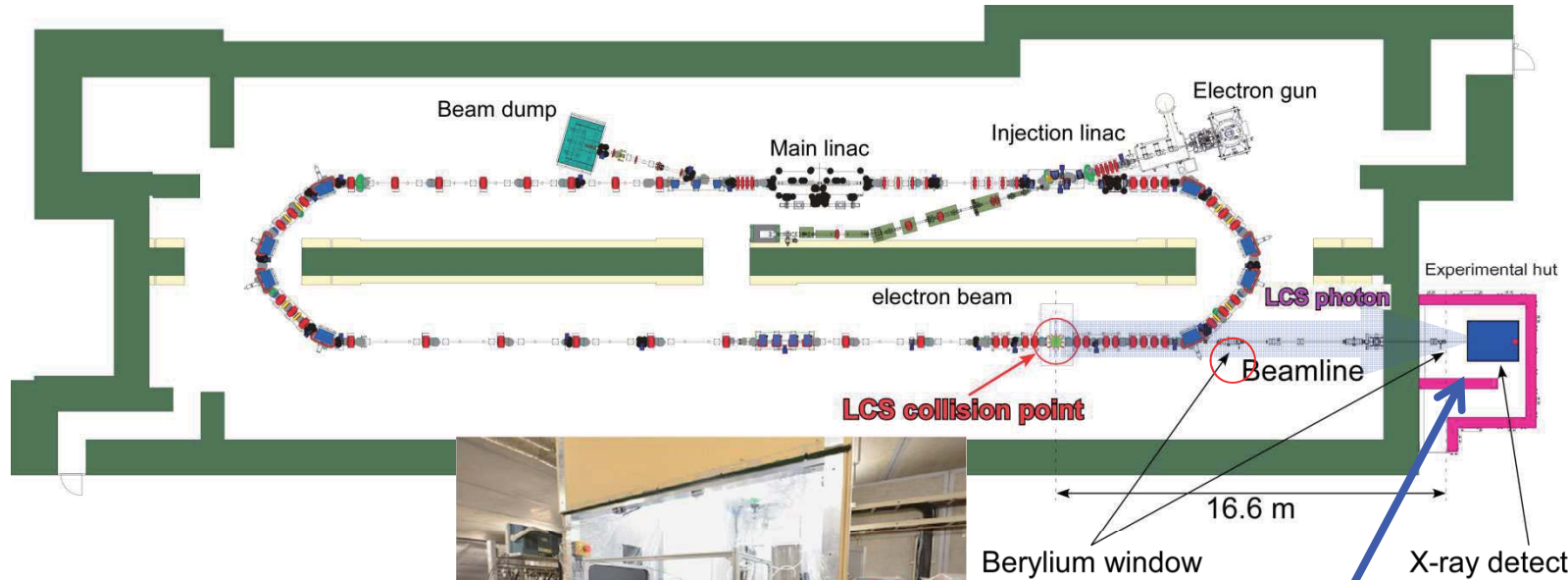
共振ピークの改善のため、PID回路などの調整をおこなった。
(うまくいかなかったので現状維持)

6月にcERLの運転があり、6月25日、26日にLCS実験をおこなった。
イメージング実験では、

- サンプルの位置による屈折イメージング像を測定した。
- LCS beam line上流のBe窓を大きいBe窓に交換することにより測定できる視野が大きくなったことを確認した。
- X線テストチャート、ファイバーのイメージング像を測定した。

また、Absorption Edge Imagingを見据えて、電子のエネルギーを上げることによりLCS X線のエネルギーを上げ、このときのX線スペクトルの測定をおこなった。

実験配置



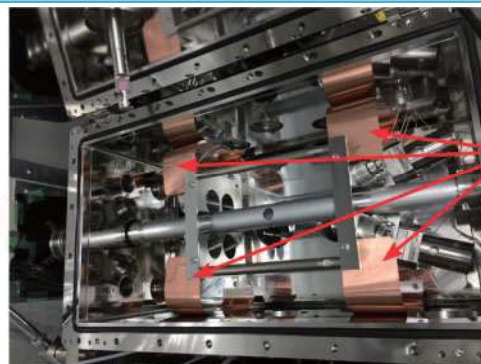
今回、He濃度計でHe濃度を測定
He濃度: ~ 70 % (透過率: ~ 27%)

サーマルアンカーによる共振器温度上昇抑制効果

共振器長の微調整 (数kHz) は共振器の温度調整によっておこなわれている。
 温度制御はチャンバー自体の温度を変えることで制御するが、チャンバーと共振器の接地面積が小さすぎて思った通りの温度にならない。
 さらにLCS実験中に共振器内に光が蓄積すると共振器の温度が上がってしまいピエゾによる制御範囲を超えてしまう。(超えてしまうとLCS実験ができなくなってしまう。)

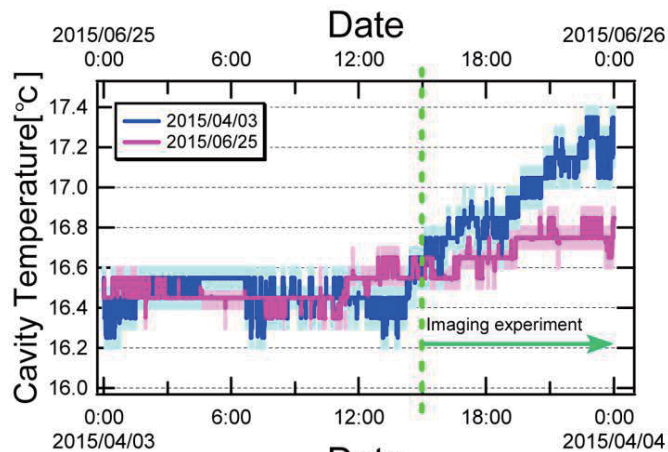


サーマルアンカーを追加し冷却能力向上と共振器の安定化を目指した。



追加した
サーマルアンカー

水冷銅板付チャンバー



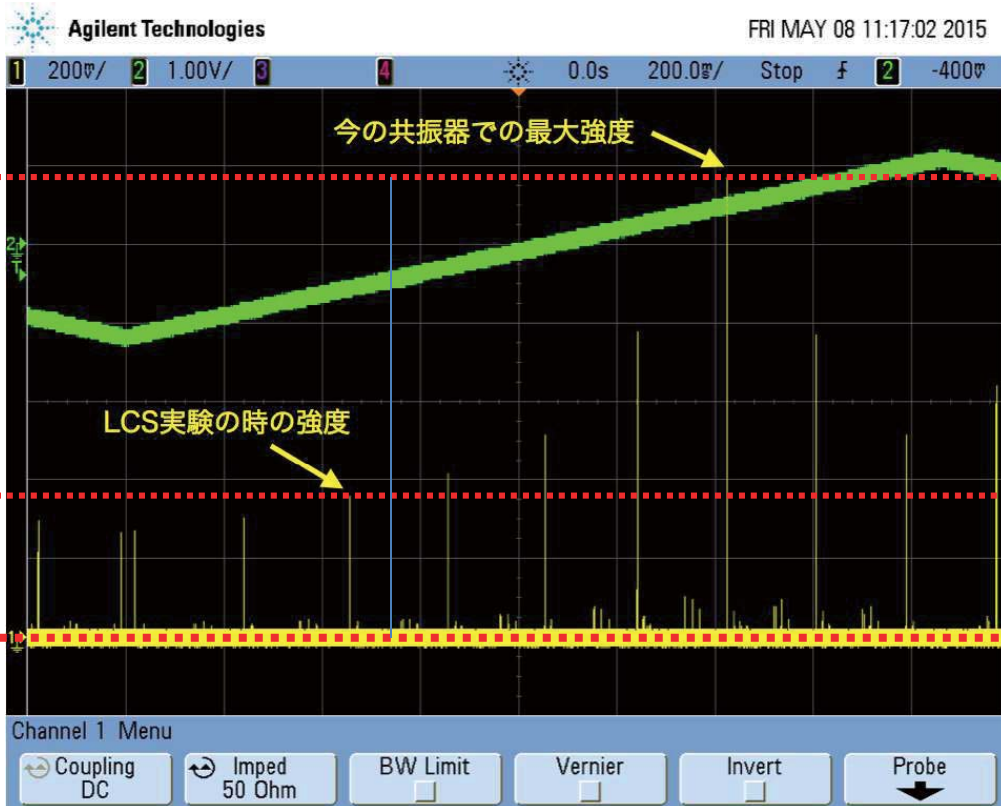
- 4/3・・・サーマルアンカーなし → 温度変化約 1.0°C ($\Delta f = 2.3\text{kHz}$)
- 6/25・・・サーマルアンカーあり → 温度変化約 0.4°C ($\Delta f = 0.9\text{kHz}$)
 (ピエゾ素子の制御範囲: 1.8 kHz)



レーザーの蓄積光による共振器の温度上昇を抑えることに成功した。

今後、室温程度で共振するように共振器長を調整する予定。
 (一度共振器を大気中に取り出す必要がある)

共振ピークの改善



Injection laser power:24 W

1.2V(31.2kW)

Enhancement factor:
1300

共振器ミラーの構成を考えると
Enhancement factorは2000以上あるはず

0.4V(10.4kW)

Enhancement factor:
400

今回もこのピークで
実験をおこなった。

Base line

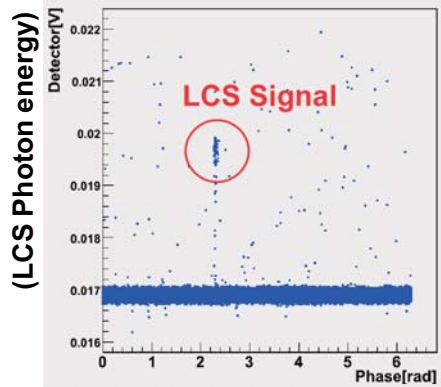
今回、4/3より高いピークでのロックを試みたがうまくいかなかった。
今後、ロックのためのエラーシグナル生成方法、PID回路などの回路の見直しなどをおこなう。

現在、PID回路などを中心に周波数応答の測定をおこない、ロック不安定性の原因を探っている。

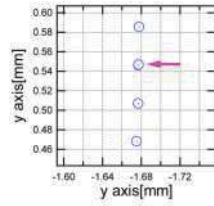
cERLでのイメージング実験

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)

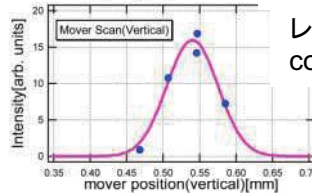


•Mover scan(Vertical)

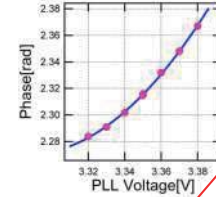


$\sigma = 35 \mu\text{m}$

レーザーと電子の
correlation幅に対応



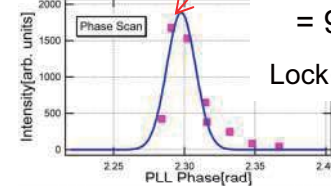
•Phase scan



実際にSDDで測定されたLCS Signal
と比較すると、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



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

LCS X線の光量について(前回4/3との比較)

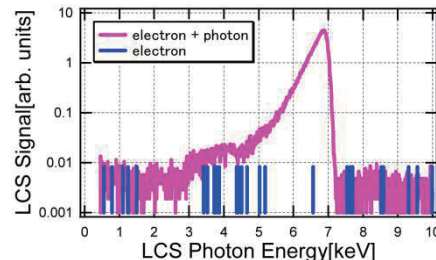
共振器内蓄積パワー: 10.4 kW \longrightarrow 6.3 kW(60.7%)

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)

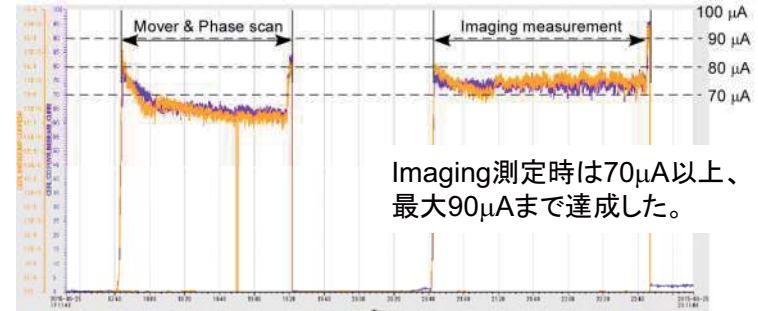
LCS X線測定時のcERL加速器の状況

Background vs. LCS signal



電子によるBackgroundは少ない

cERLの電流値

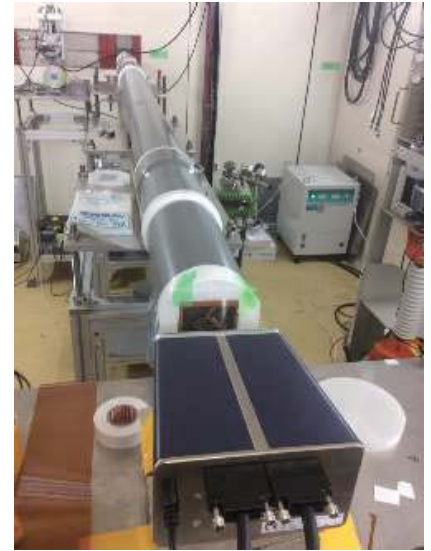


Imaging測定時は70 μA 以上、
最大90 μA まで達成した。

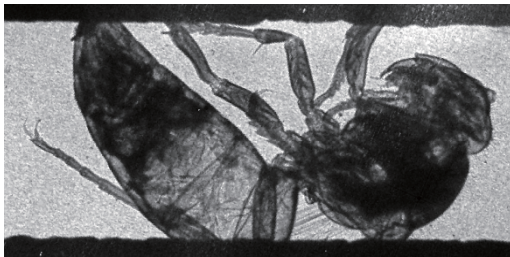
cERLでのLCS X線イメージング実験結果(1)

前回と同様スズメバチのイメージング測定をおこなった。

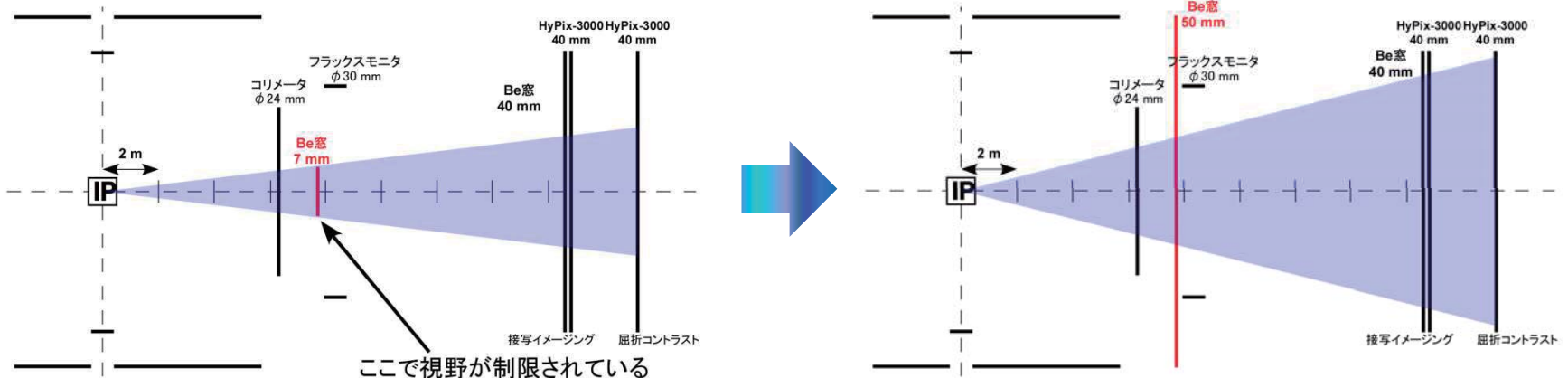
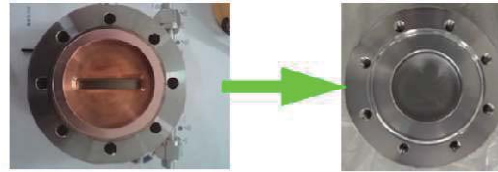
- Be窓の交換により視野が広がったことの確認。
- 接着画像と屈折コントラスト画像を測定する。



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(2)

接写イメージング



測定時間: 1330秒 = 約22分
Max. 0.2 photons/sec/100 μm^2
Ave. 0.08 photons/sec/100 μm^2
(lockが不安定ためAve.が低い)

屈折コントラストイメージング



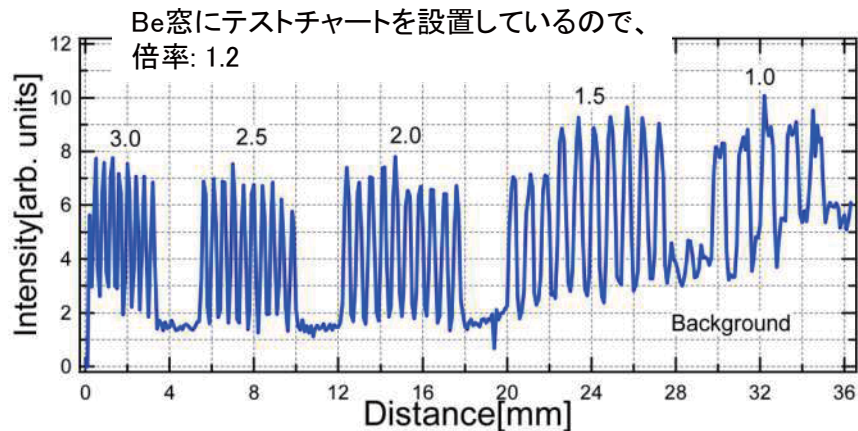
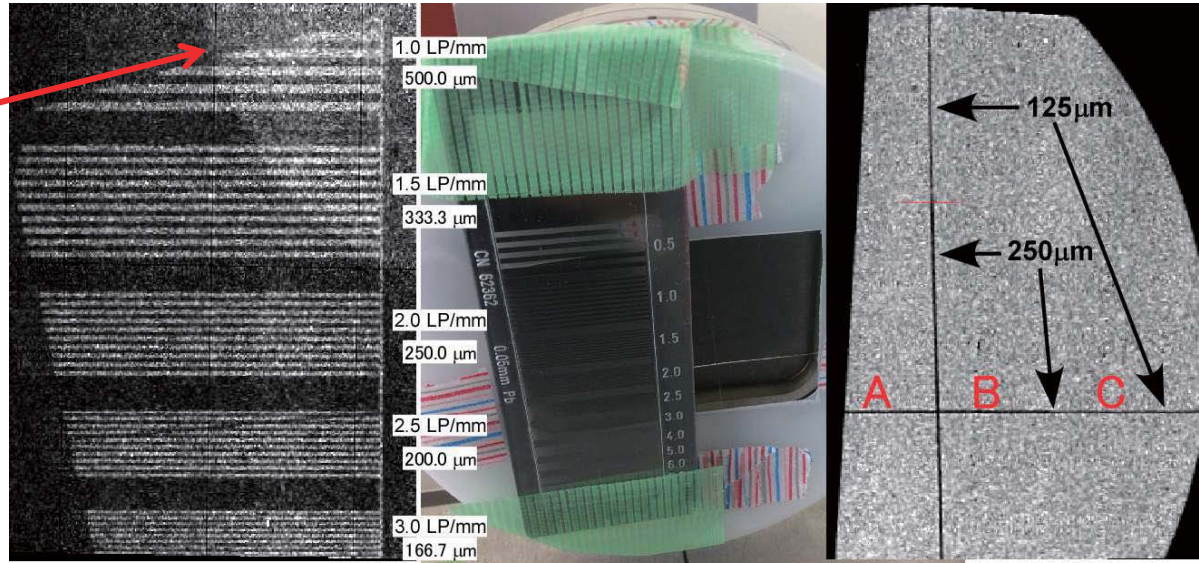
測定時間: 480秒 = 8分
Max. 0.16 photons/sec/100 μm^2
Ave. 0.11 photons/sec/100 μm^2

cERLでのLCS X線イメージング実験結果(1)

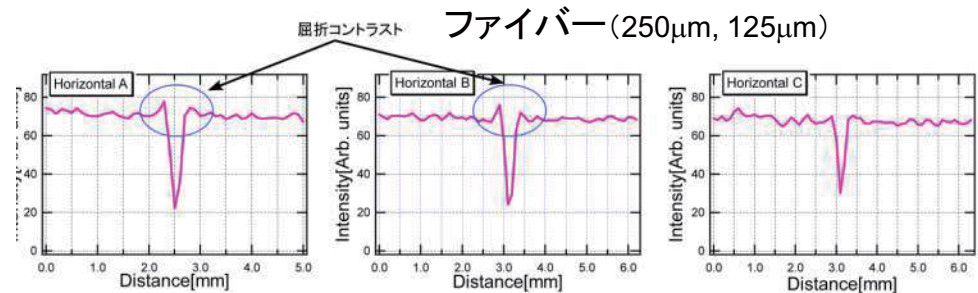
φ125 μmとφ250 μmのファイバー、X線用テストチャートのイメージング測定をおこなった。

測定時間: 13分

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



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)

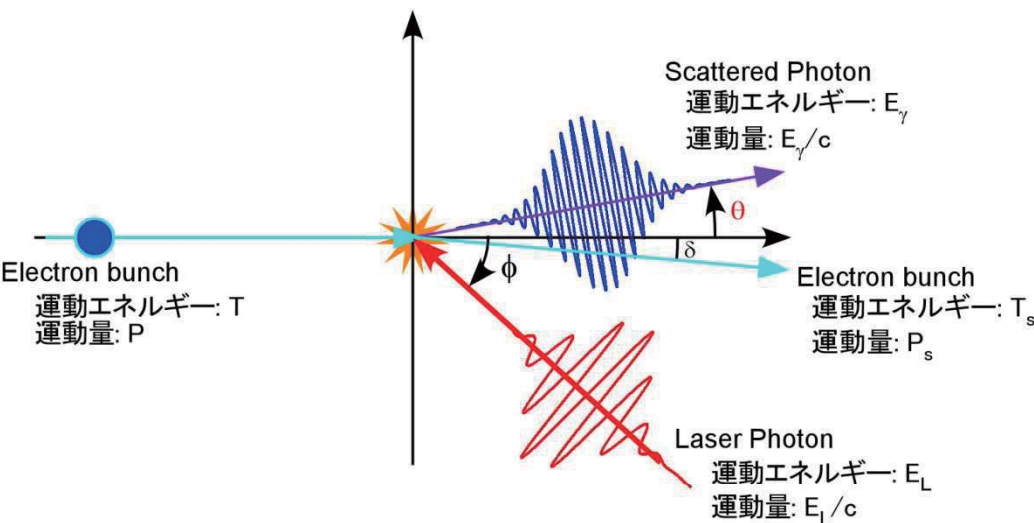


測定時間: 770秒 = 約13分

Max. 0.2 photons/sec/100 μm²

Ave. 0.08 photons/sec/100 μm²

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)

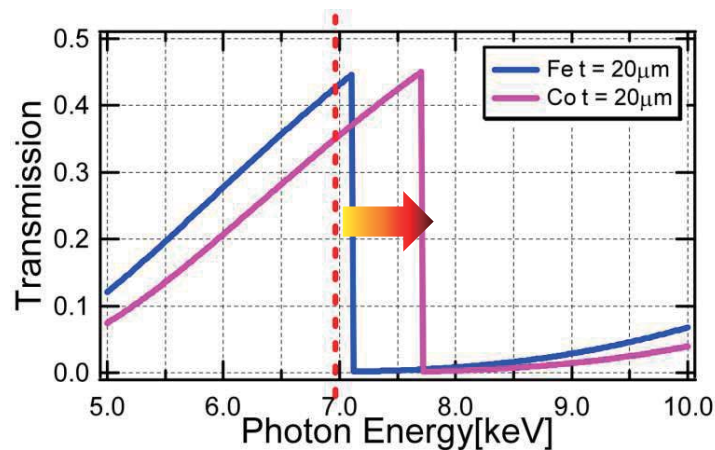
電子のエネルギーを上げることでLCS X線のエネルギーを上げることができる。
 今後、物質の吸収端前後でイメージング測定をおこなう予定。

	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: $E_\gamma(\theta)$

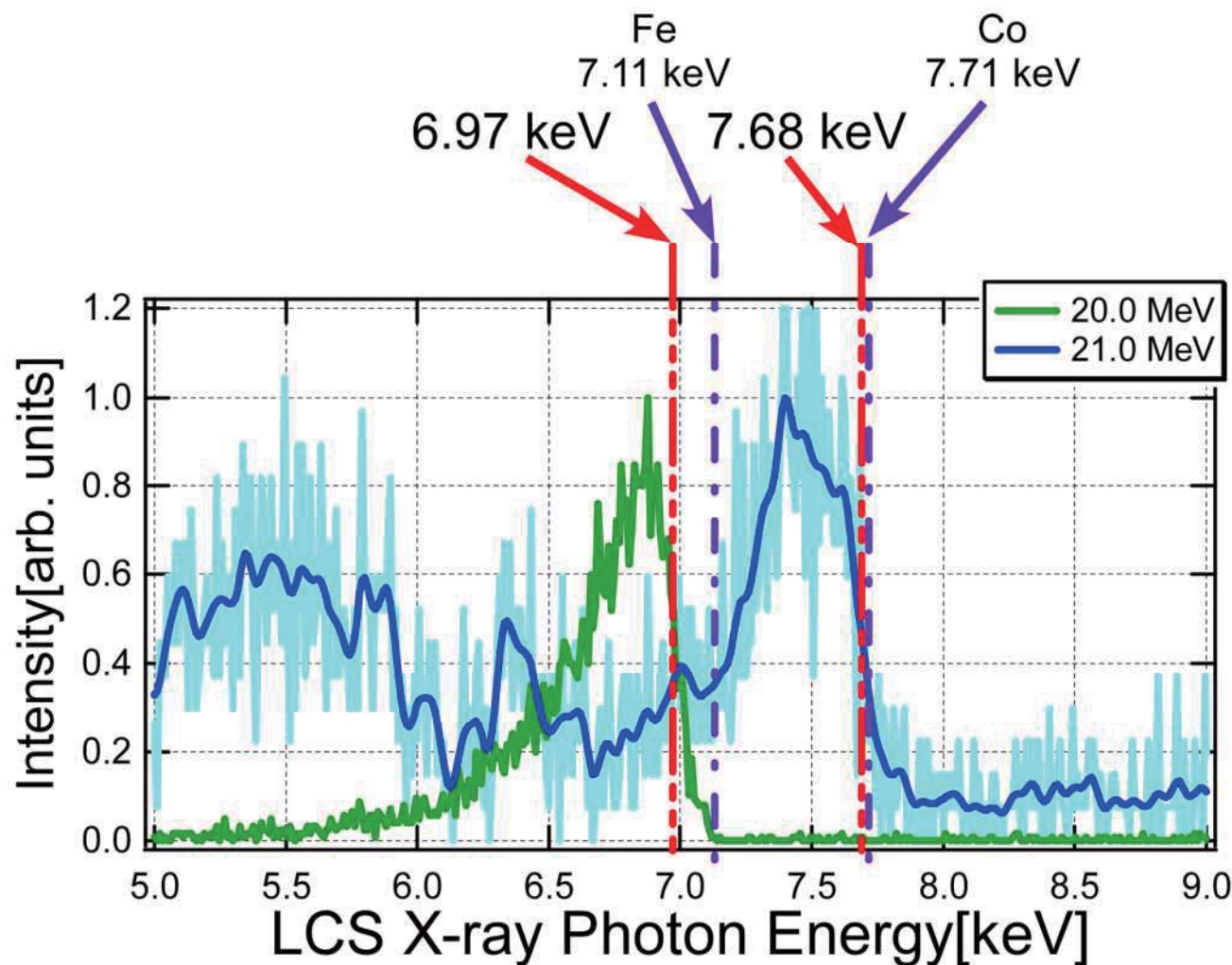
$$E_\gamma(\theta) = \frac{E_L(1 + \beta \cdot \cos \phi)}{1 - \beta \cdot \cos \theta + \left(\frac{E_L}{T + mc^2}\right) \{1 + \cos(\theta + \phi)\}}$$

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。

まとめ

共振器のレーザーによる温度上昇を抑えるため、共振器にサーマルアンカーを追加した。

共振ピークの改善のため、PID回路などの調整をおこなった。
(うまくいかなかったので現状維持)

6月にcERLの運転があり、6月25日、26日にLCS実験をおこなった。

イメージング実験では、

- サンプルの位置による屈折イメージング像を測定した。
- LCS beam line上流のBe窓を大きいBe窓に交換することにより測定できる視野が大きくなったことを確認した。
- X線テストチャート、ファイバーのイメージング像を測定した。

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た。

今後は、

- 共振器内の蓄積パワーを上げるため、
 - ➡ 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のAbsorption Edge Imagingをおこなう。