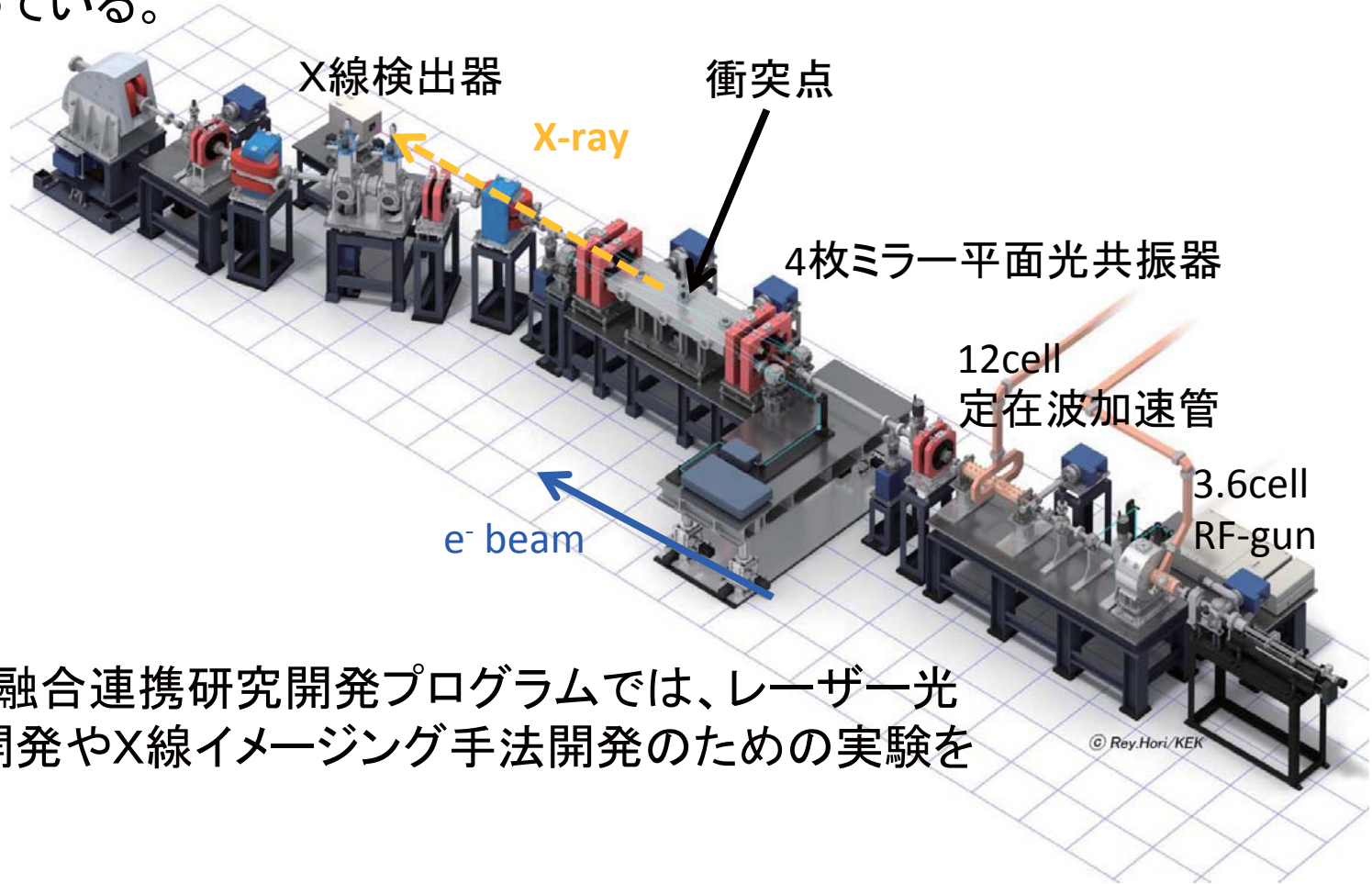


KEK小型電子加速器(LUCX)の 状況報告

KEK 福田 将史

LUCX

小型電子加速器(LUCX)では、逆コンプトン散乱を利用した小型X線源の開発を行っている。



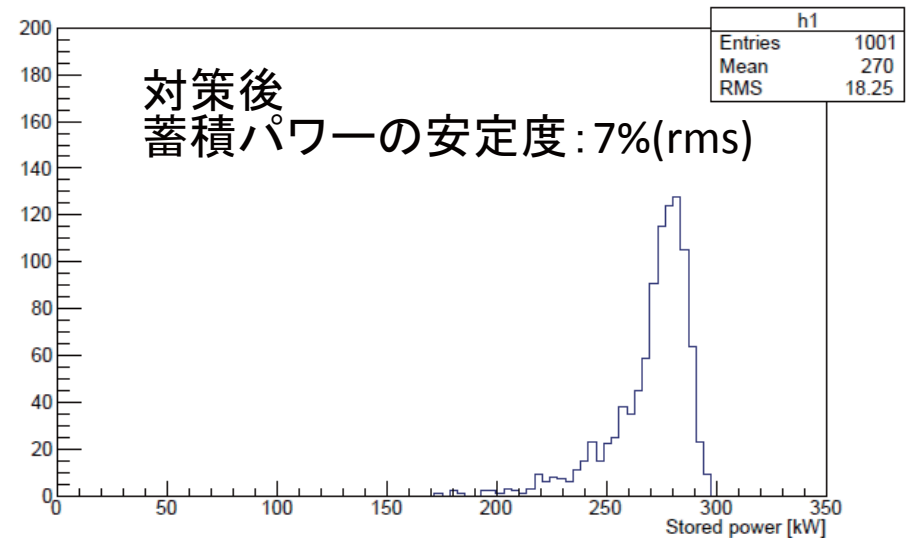
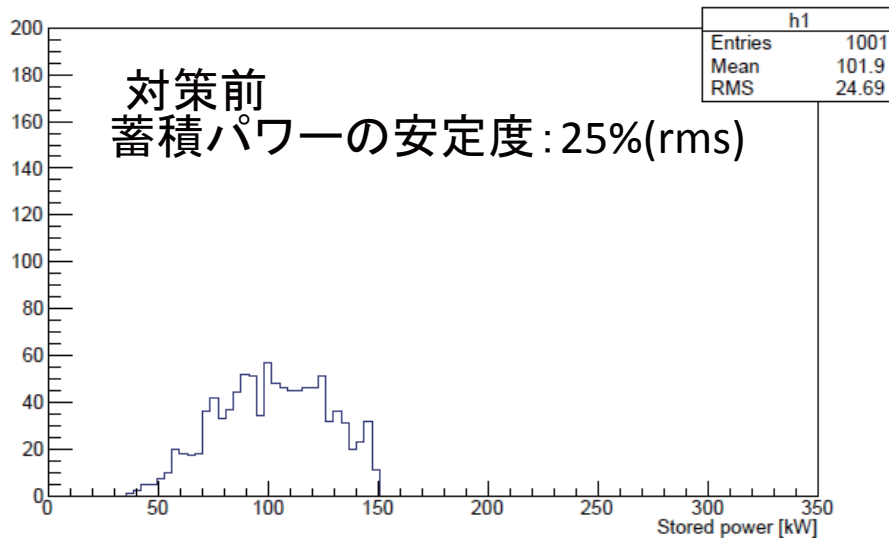
光・量子融合連携研究開発プログラムでは、レーザー光共振器開発やX線イメージング手法開発のための実験を行う。

本日の報告内容

- レーザー共振器の状況
 - これまで行ってきた蓄積パワー安定化対策
 - ポツケルスセルを用いた蓄積パワー増強テスト
- X線実験
 - 元素の吸収端イメージング
 - タルボ干渉を用いた位相イメージング

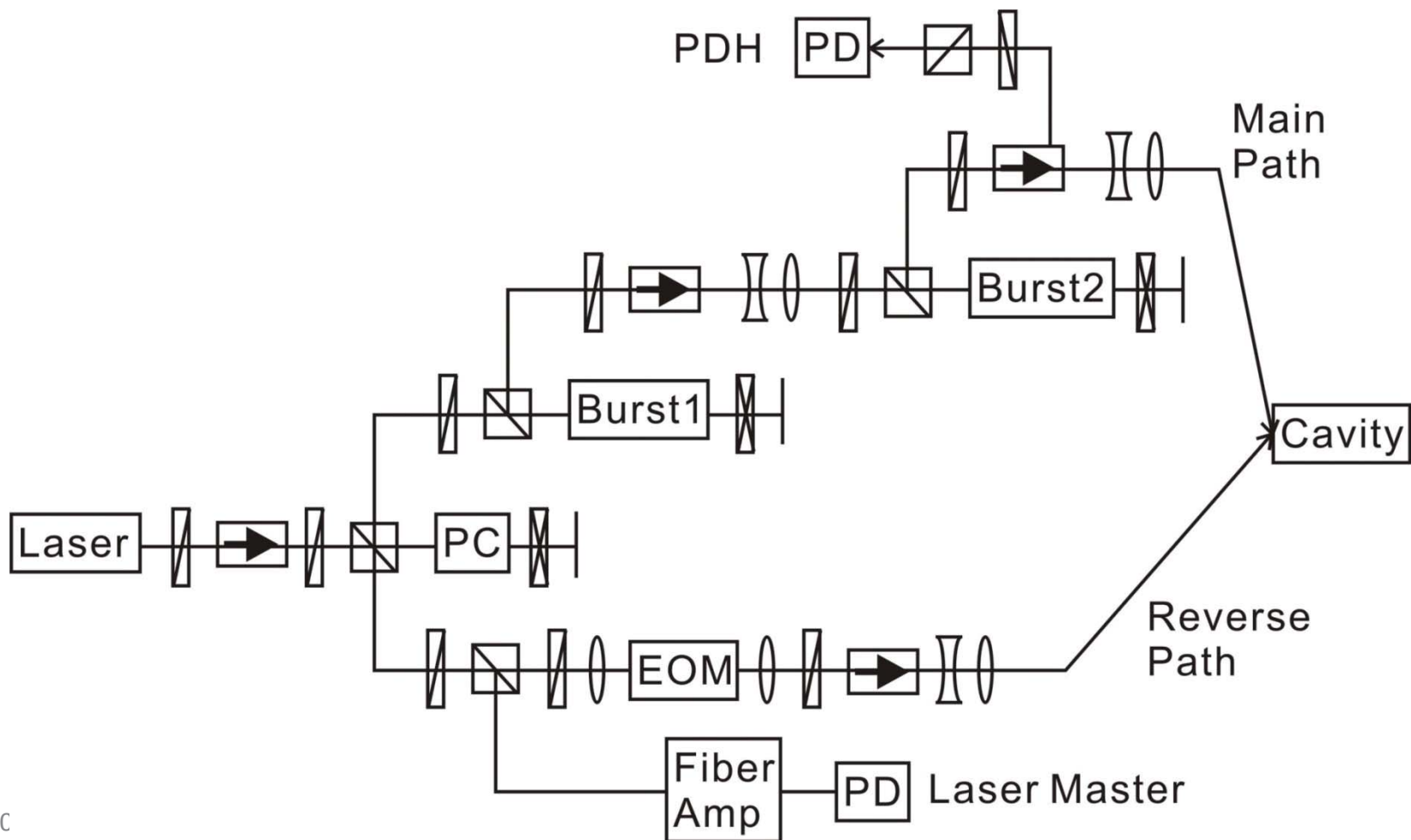
蓄積パワーの安定化対策

- 電源やチャラー等、振動や騒音源の排除。
- ノイズ対策としてチョークコイル導入
- フィードバック系のパラメータの最適化



蓄積パワー増強試験

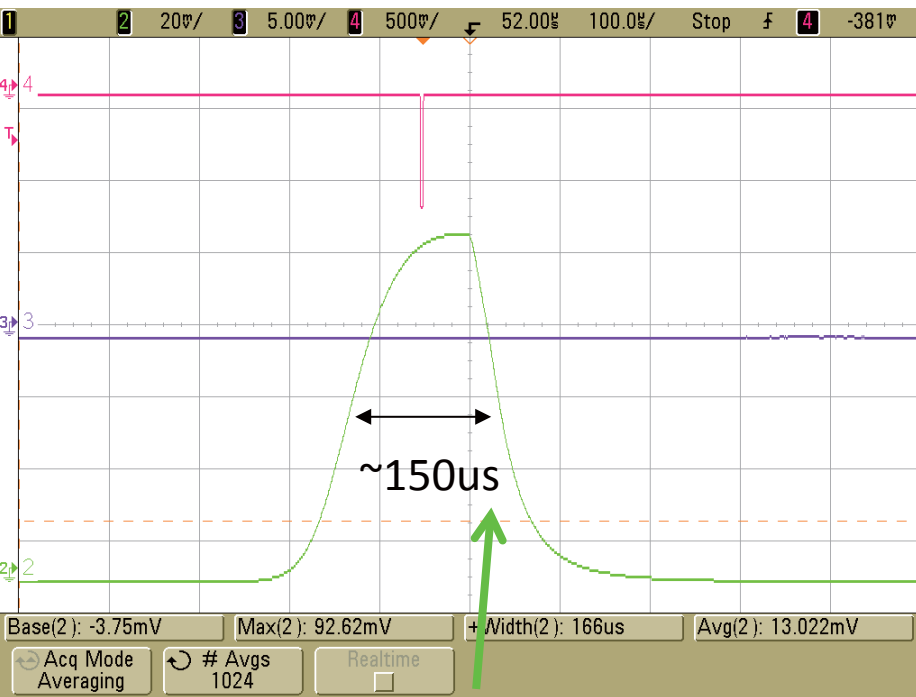
ポッケルスセルを導入し、バーストアンプ時の増幅率を上げ、共振器への入射パワーを増強。



ポッケルスセルを使ったバーストアン プテスト

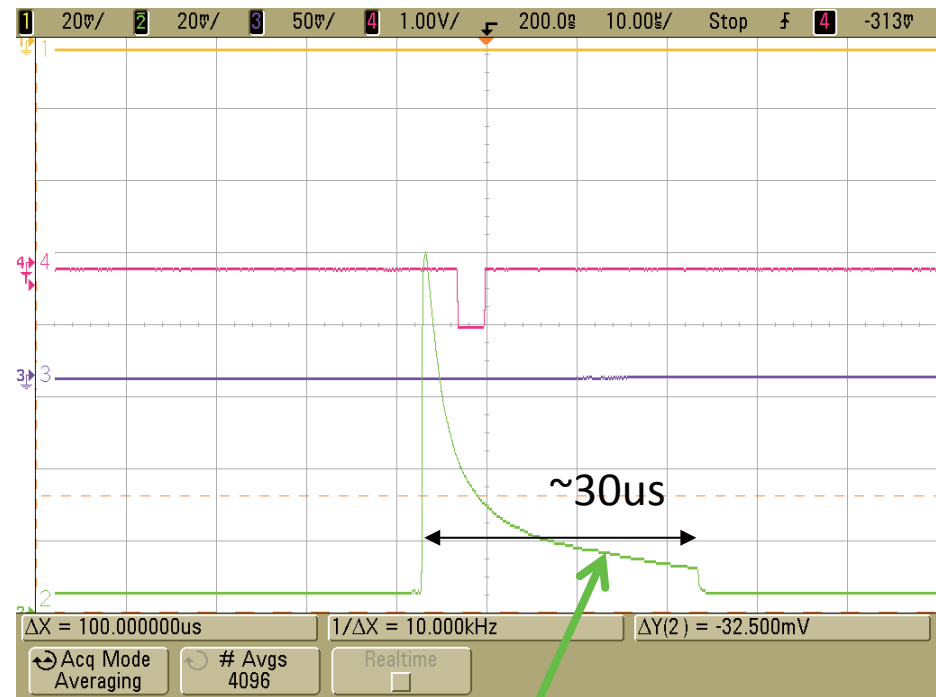
ポッケルスセルで切り出してから、増幅する方法を試した。

ポッケルスセルでの切り出しなし。



入射レーザー波形
(BurstAMPで増幅後)

ポッケルスセルでの切り出しあり

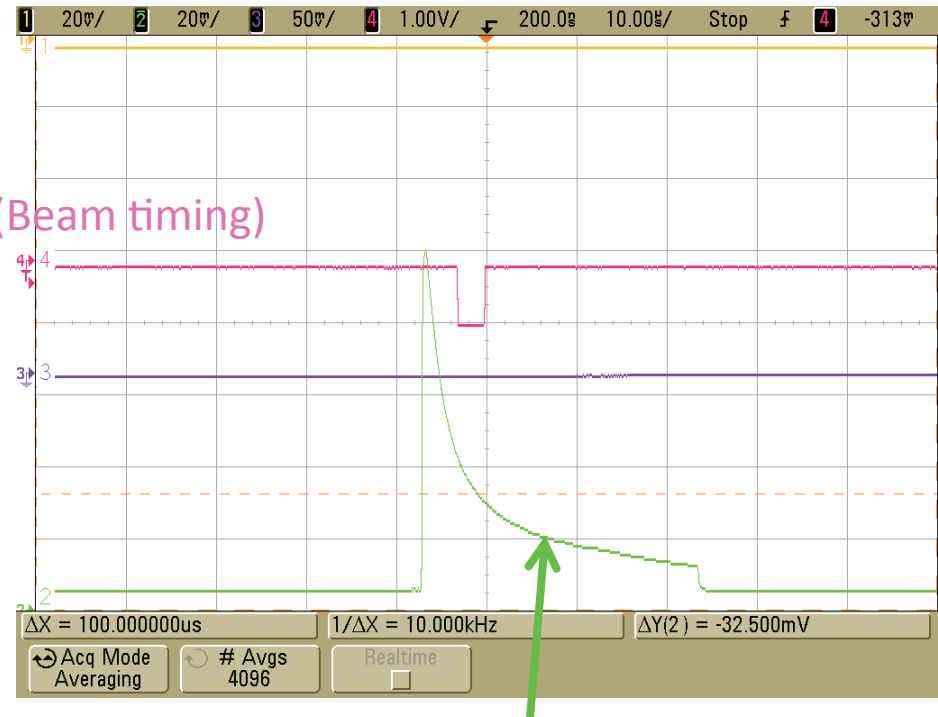
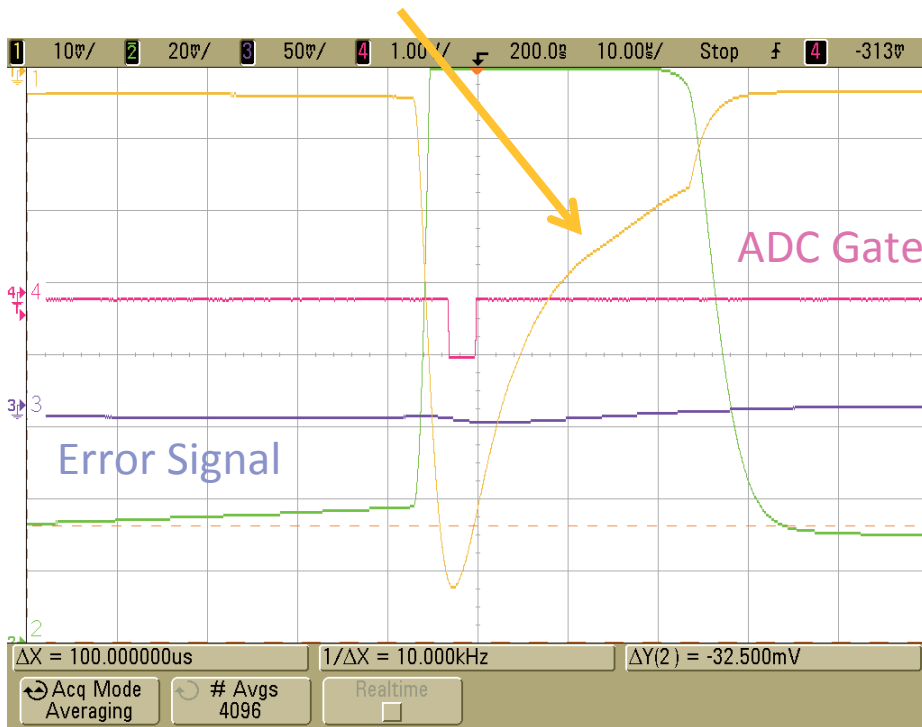


入射レーザー波形
(BurstAMPで増幅後)

ポツケルスセルを使ったバーストアン プテスト

Feedback ONで蓄積したときの波形。
ピークのところにビームタイミングを合わせた。

蓄積パワーの波形

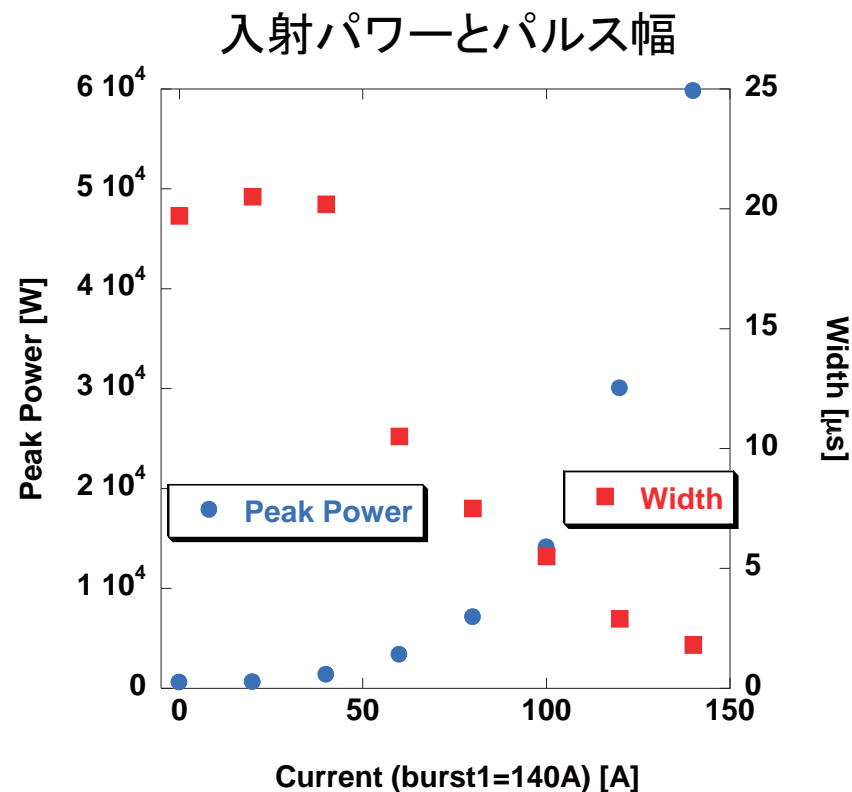
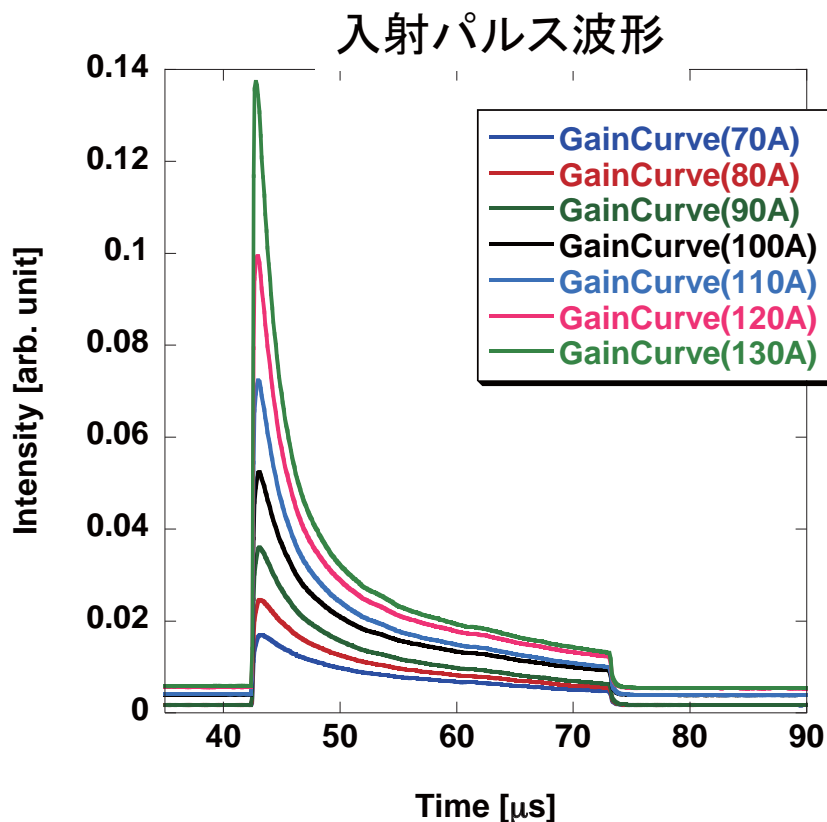


入射レーザー波形
(BurstAMPで増幅後)

Burst AMP1: 140A, Burst AMP2: 120A

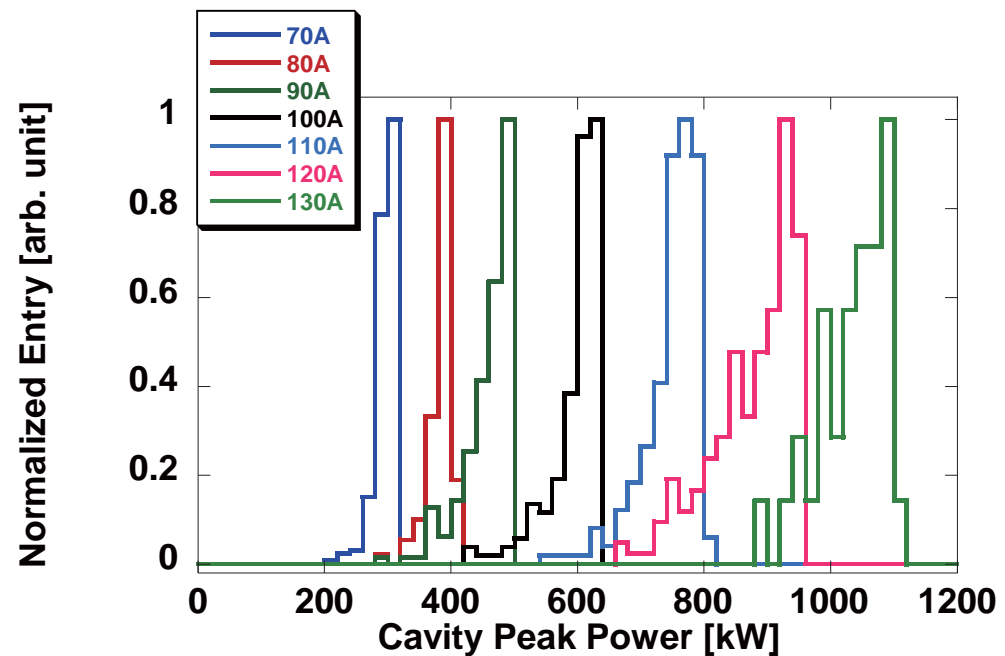
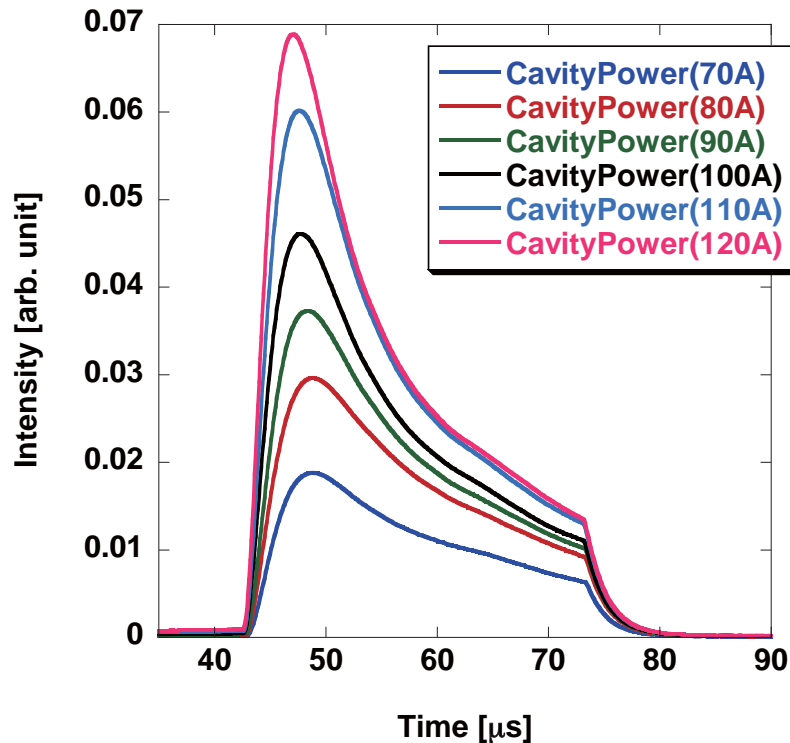
ポッケルスセル使用時の入射パワー

ポッケルスセルで切り出すと、前方が非常に強くなる 30 μ sを切り出している入射レーザーの増幅テストで、最大はピークで60kW。



蓄積試験

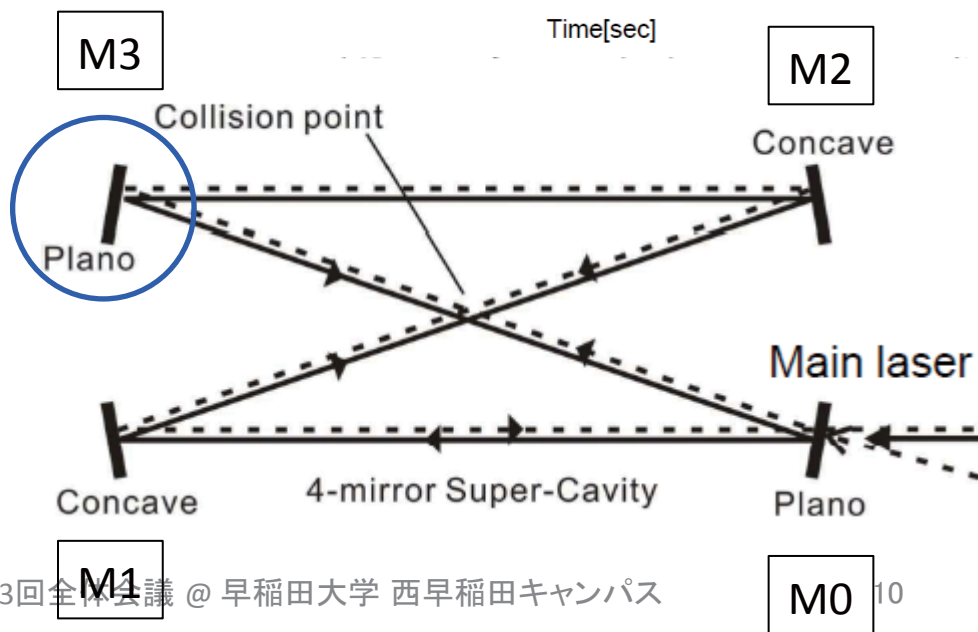
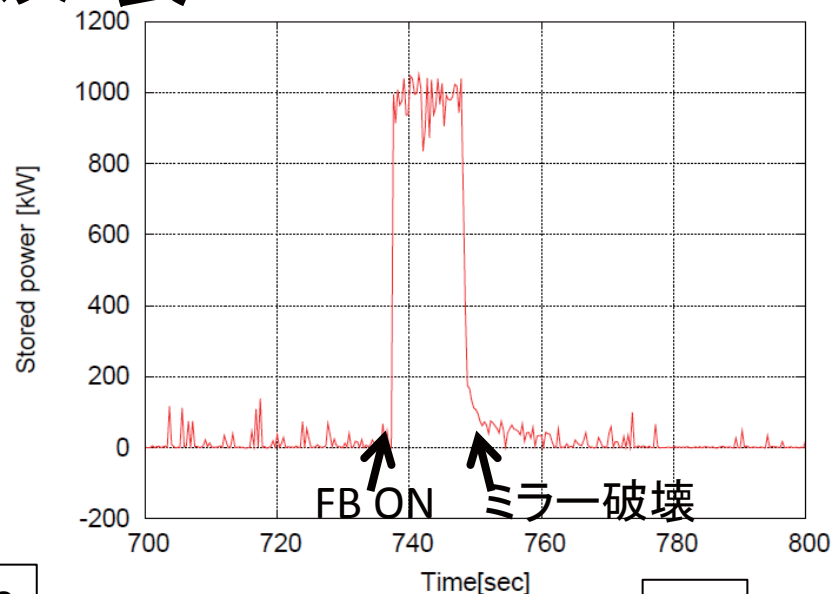
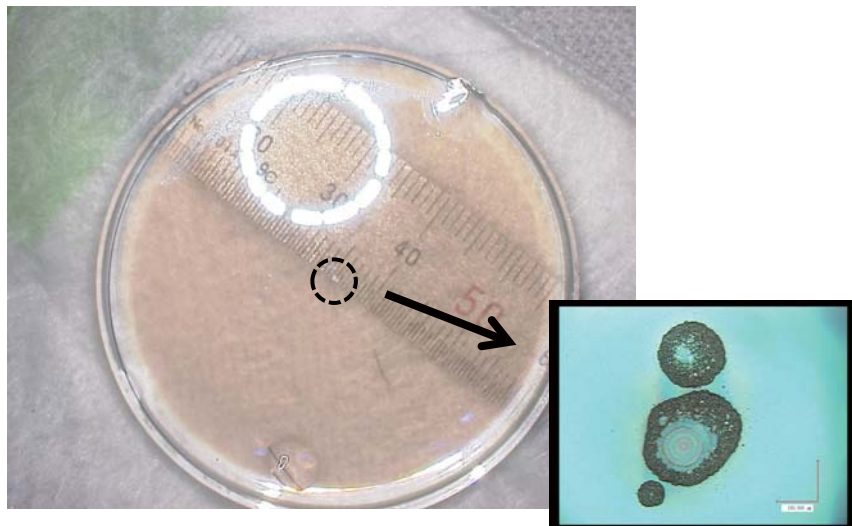
蓄積波形も前方が強いが、CavityのFillingTime分なまっている。
徐々にLD電流を上げて、増幅率を上げて行き、最大で1MWまで蓄積できた。
ただ、1MWを蓄積したところ、約10秒後にミラー破壊が起きた。



ミラー破壊

破損したのは M3 のLMAの
反射率 99.7%のフラットミラー。

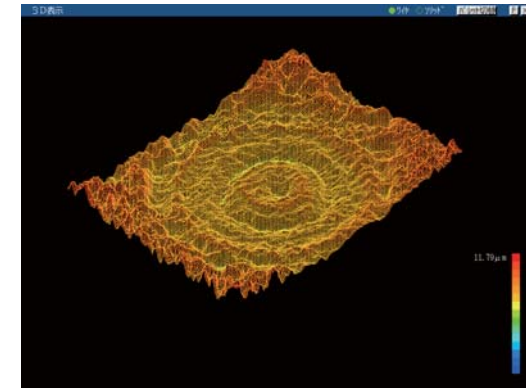
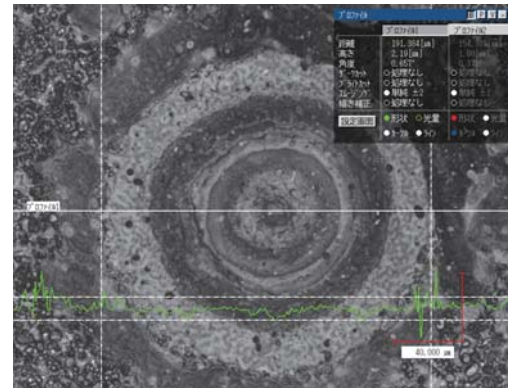
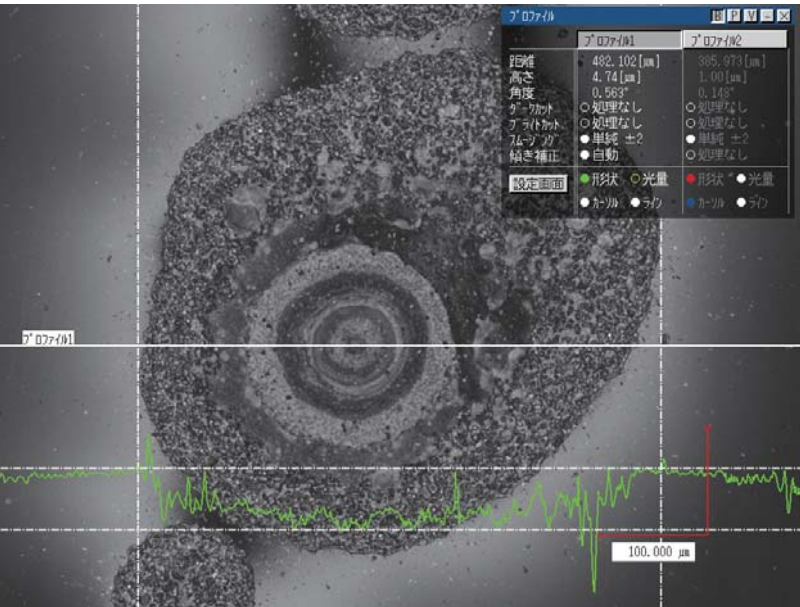
ミラーのダメージ部分を顕微鏡で見てみた。



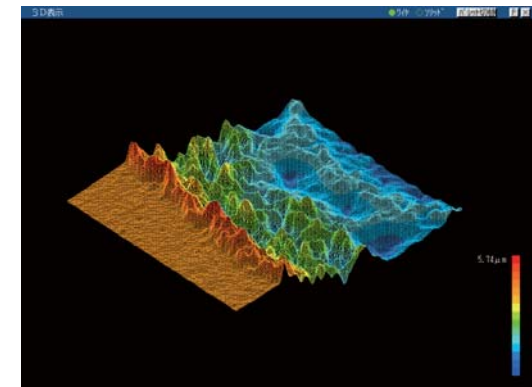
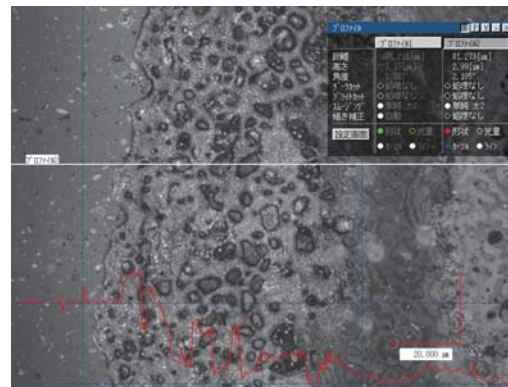
ミラーダメージ部分の顕微鏡写真

一番大きなダメージ部。
大きさ 480 μm 、深さ 4.9 μm 。
中心部が同心円上に掘れている。

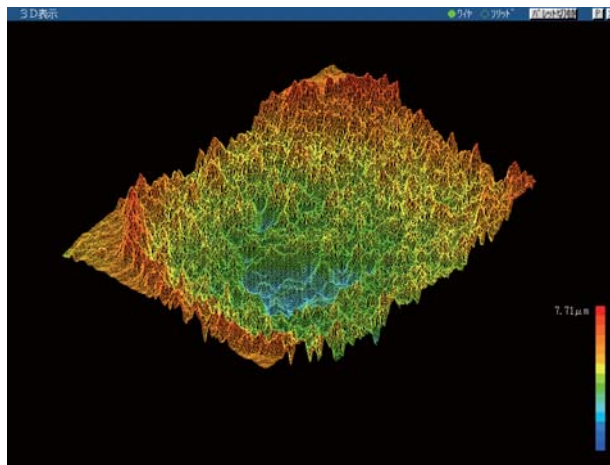
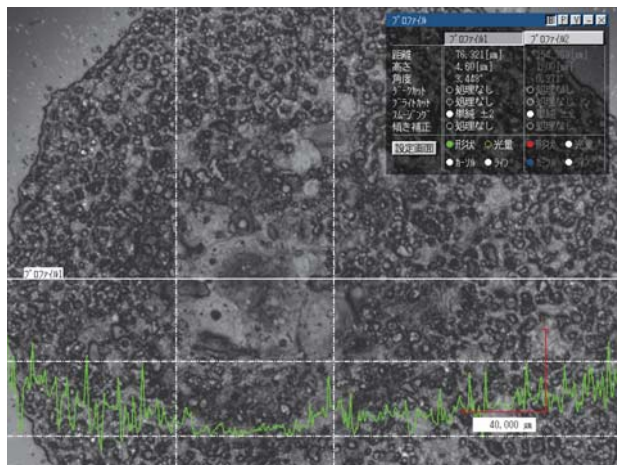
中心付近の同心円上の部分



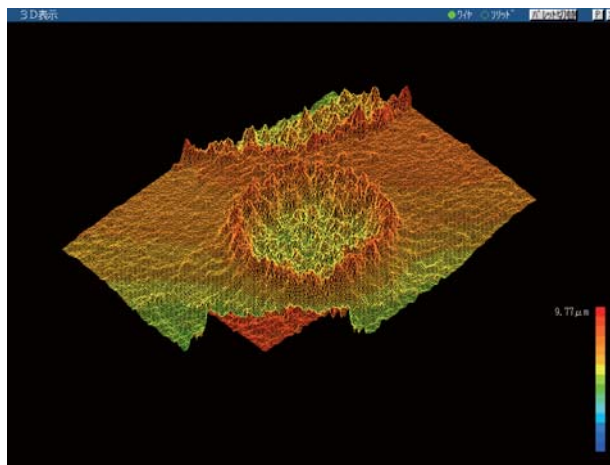
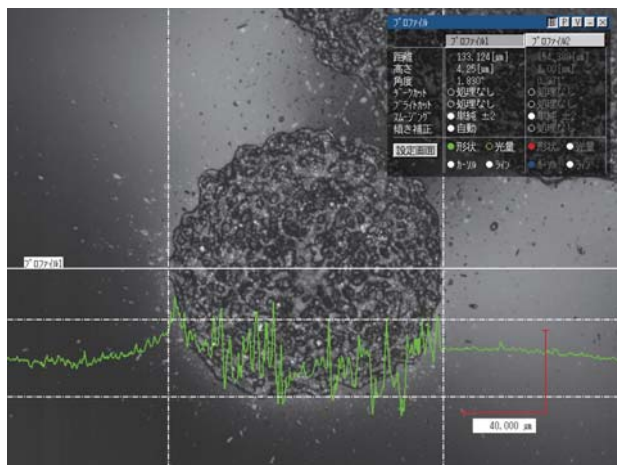
境界付近



ミラーダメージ部分の顕微鏡写真



2番目に大きなダメージ部。
大きさは250umくらい。
深さは 4.6umある。

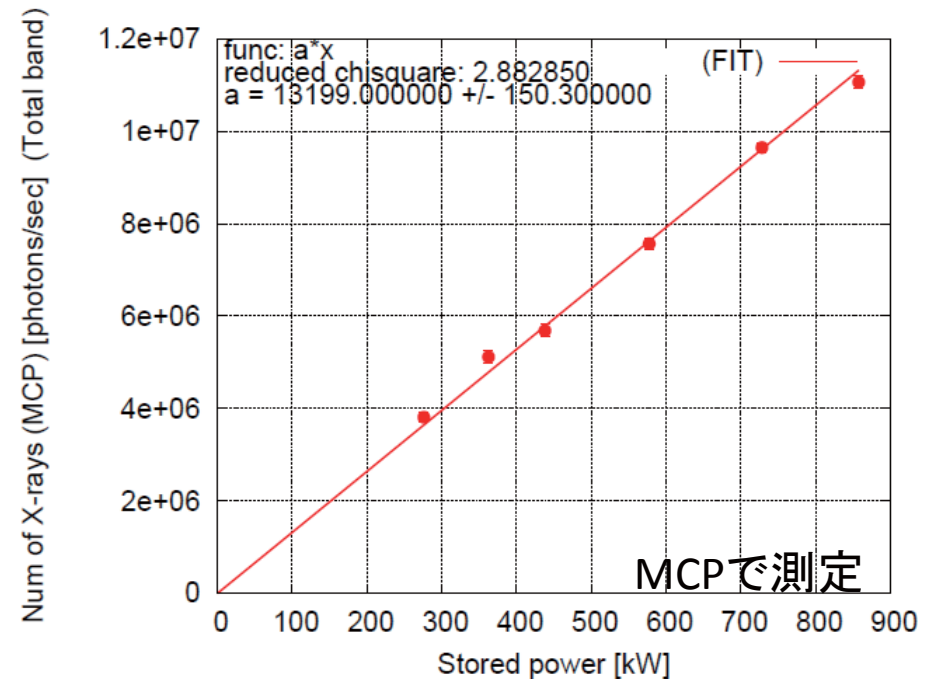
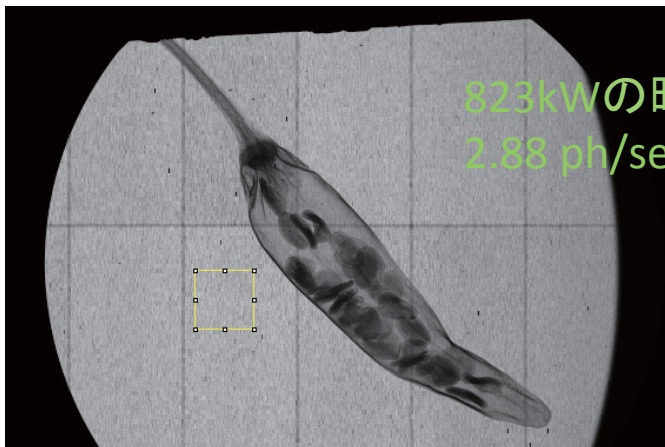
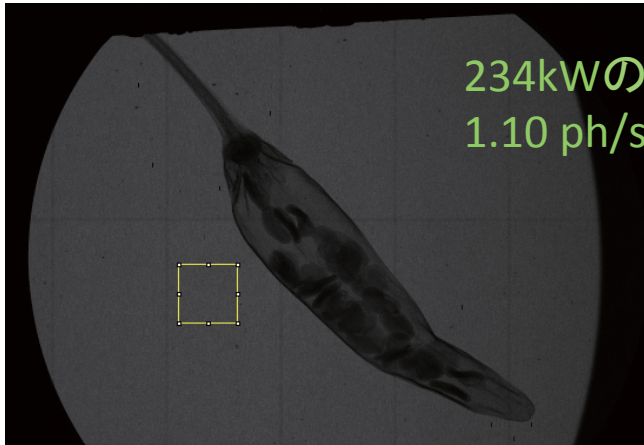


一番小さなダメージ部。
大きさは130umくらい。
深さは 4.3umある。

ポツケルスセル試験時のX線数

蓄積パワーを上げながら、X線数も測定した。

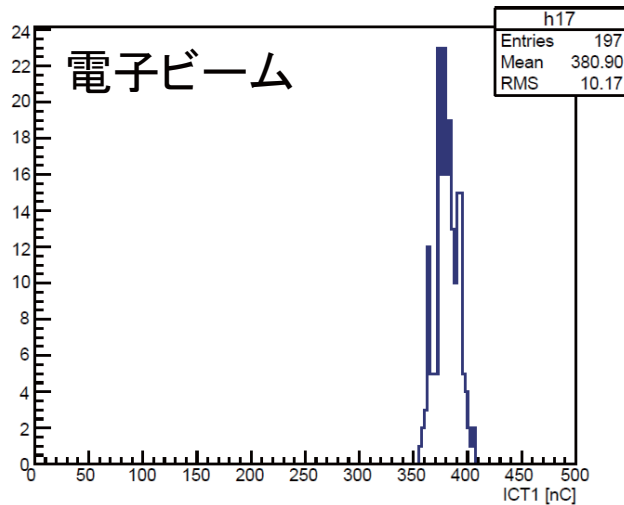
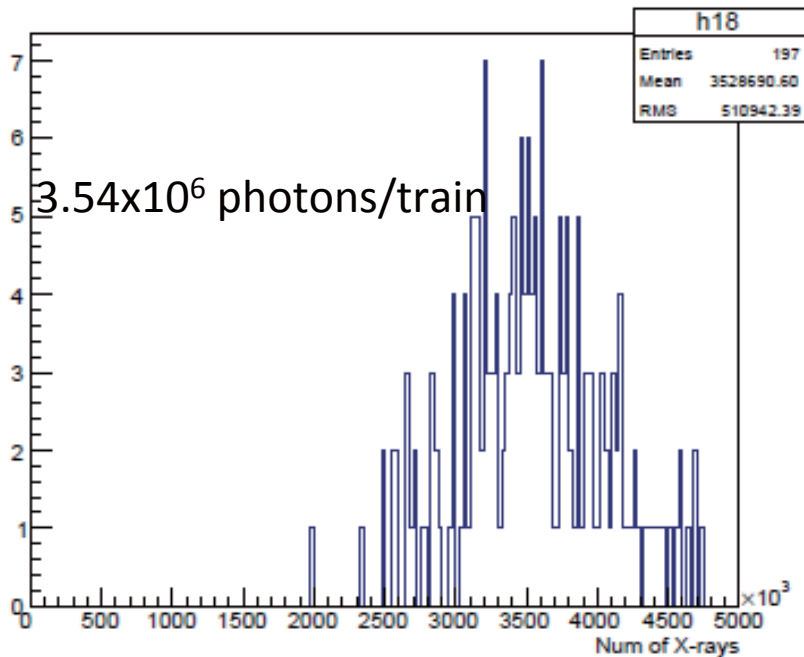
860kWのときで、 1.1×10^7 photons/sec (3.5×10^6 photons/train)となった。



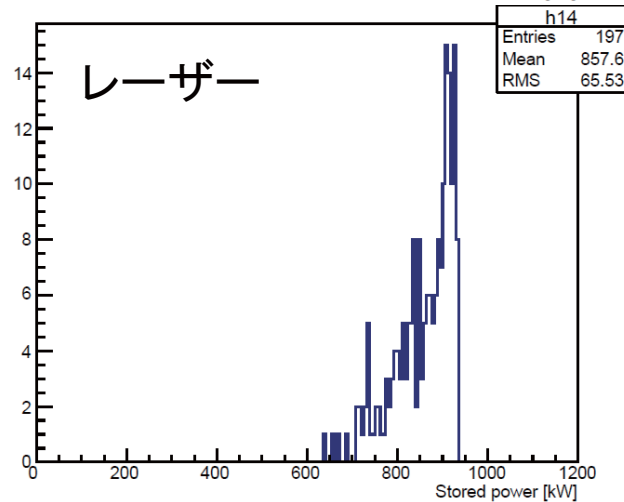
ポツケルスセル試験時のX線数

860kWのとき (BurstAMP1: 140A、BurstAMP2: 120A) で、X線数 3.54×10^6 photons/train となったときの、X線数のヒストグラム。

一回の衝突あたりのX線数



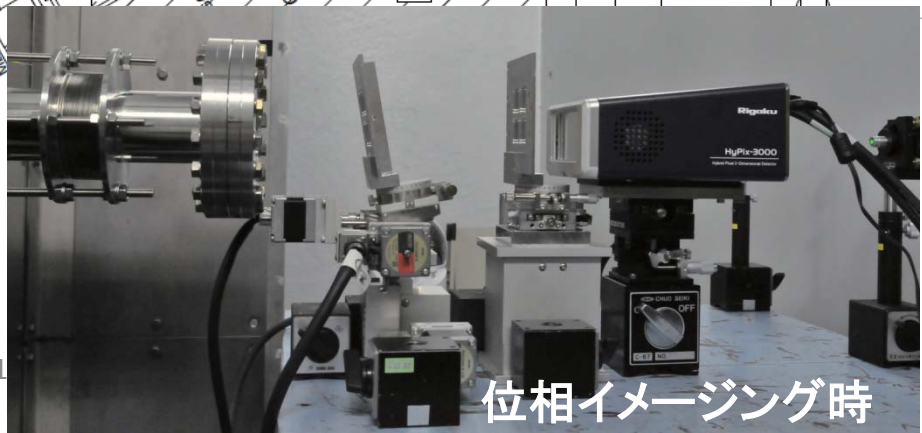
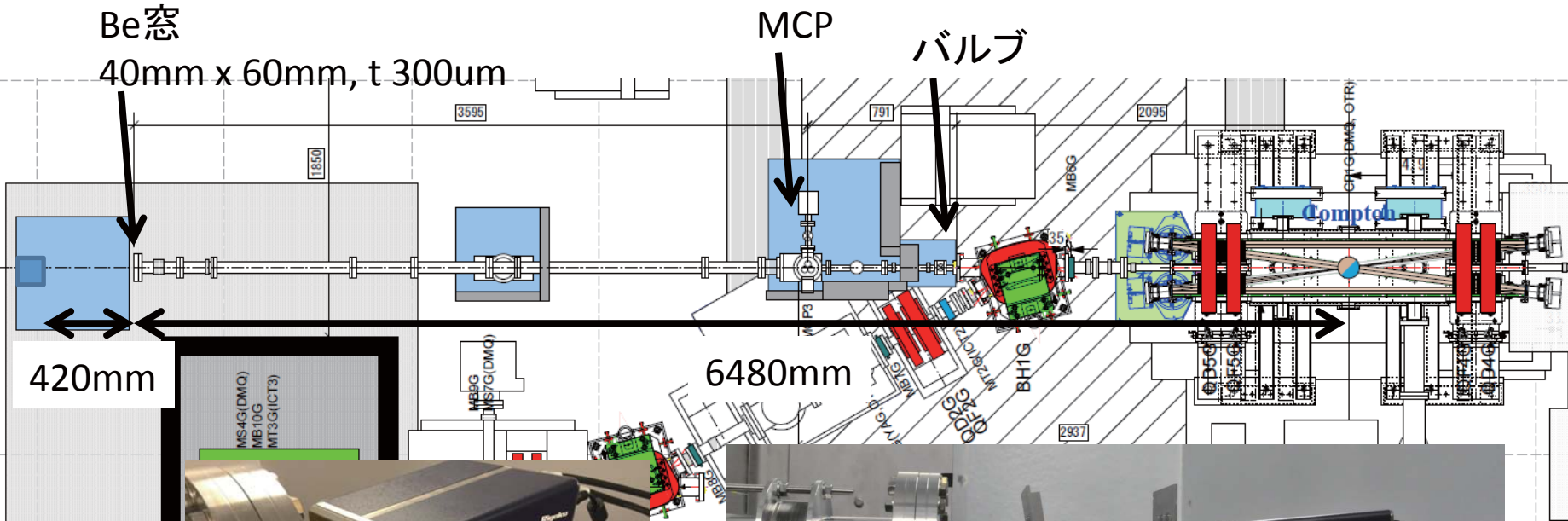
380nC
700bunches



867kW

X線ライン

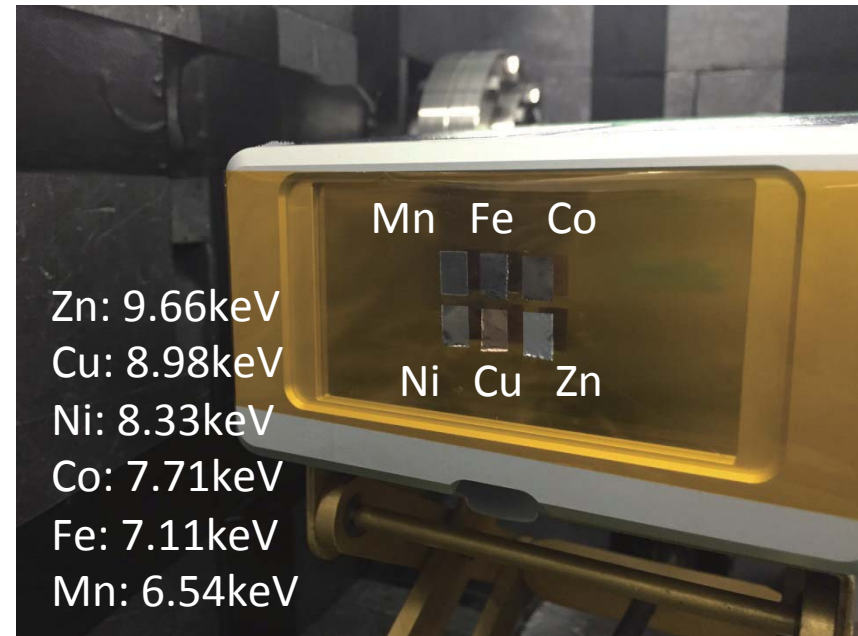
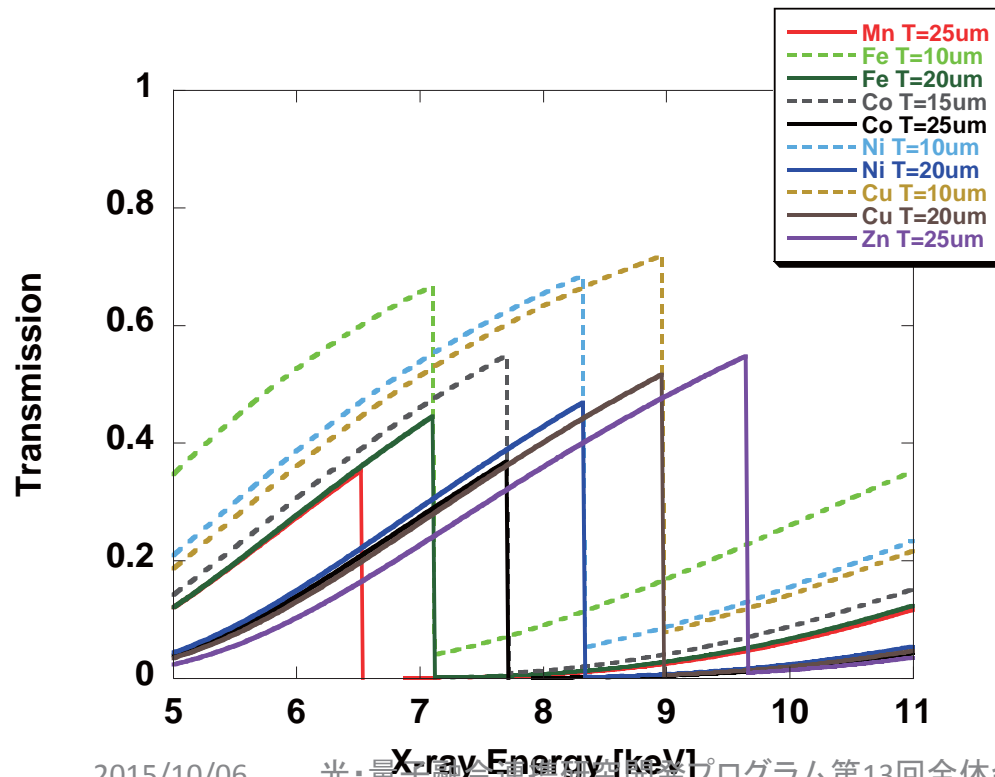
衝突点から真空出口のBe窓まで 6480mm。Be窓は 40mm x 60mm, t 300um。最下流の台に検出器やイメージングのセットアップを組んだ。



元素の吸収端イメージング

元素の吸収端を用いたイメージングを試験した。
用いた元素は原子番号の小さい方からMn/Fe/Co/Ni/Cu/Zn
それぞれの透過率計算結果は以下の通り
用いた厚さは厚い方

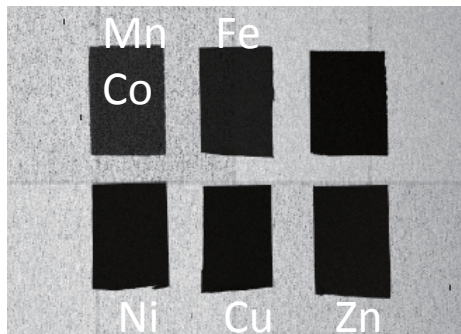
Hypixの直前に貼り付けてイメージングした



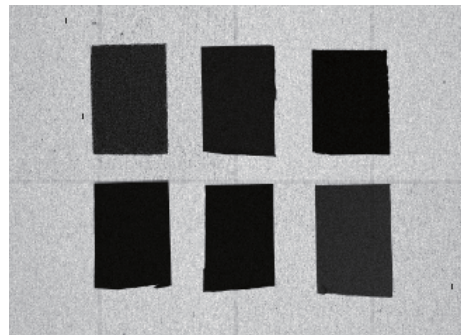
元素の吸収端イメージング

電子ビームのエネルギーを変えて、X線エネルギーを変えた。
エネルギーを少しずつ下げながら撮影。まずは全部の金属箔で止まっている。
ZnからK-edgeを超えて透過するようになり、最後にMnまで透過するようになる。

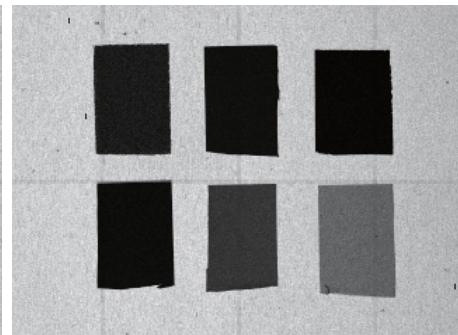
24MeV



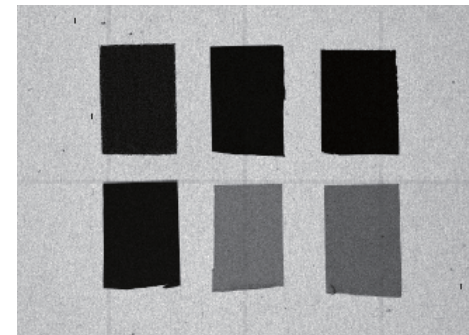
23MeV



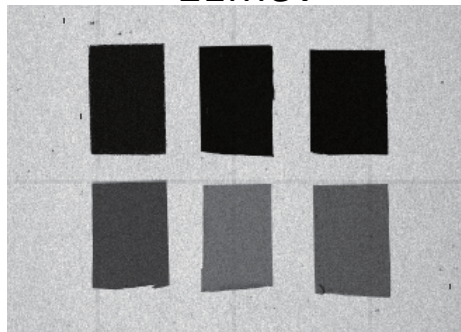
22MeV



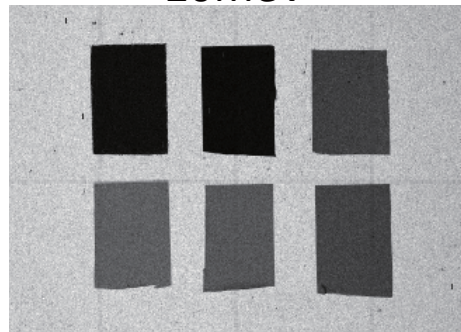
21.5MeV



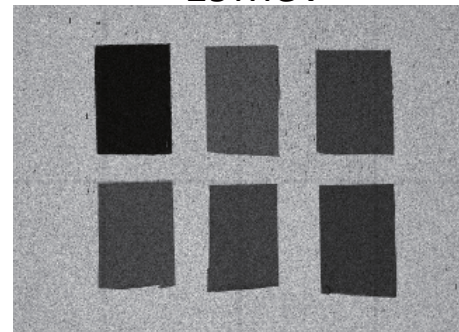
21MeV



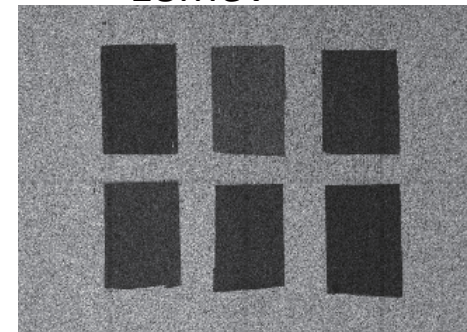
20MeV



19MeV

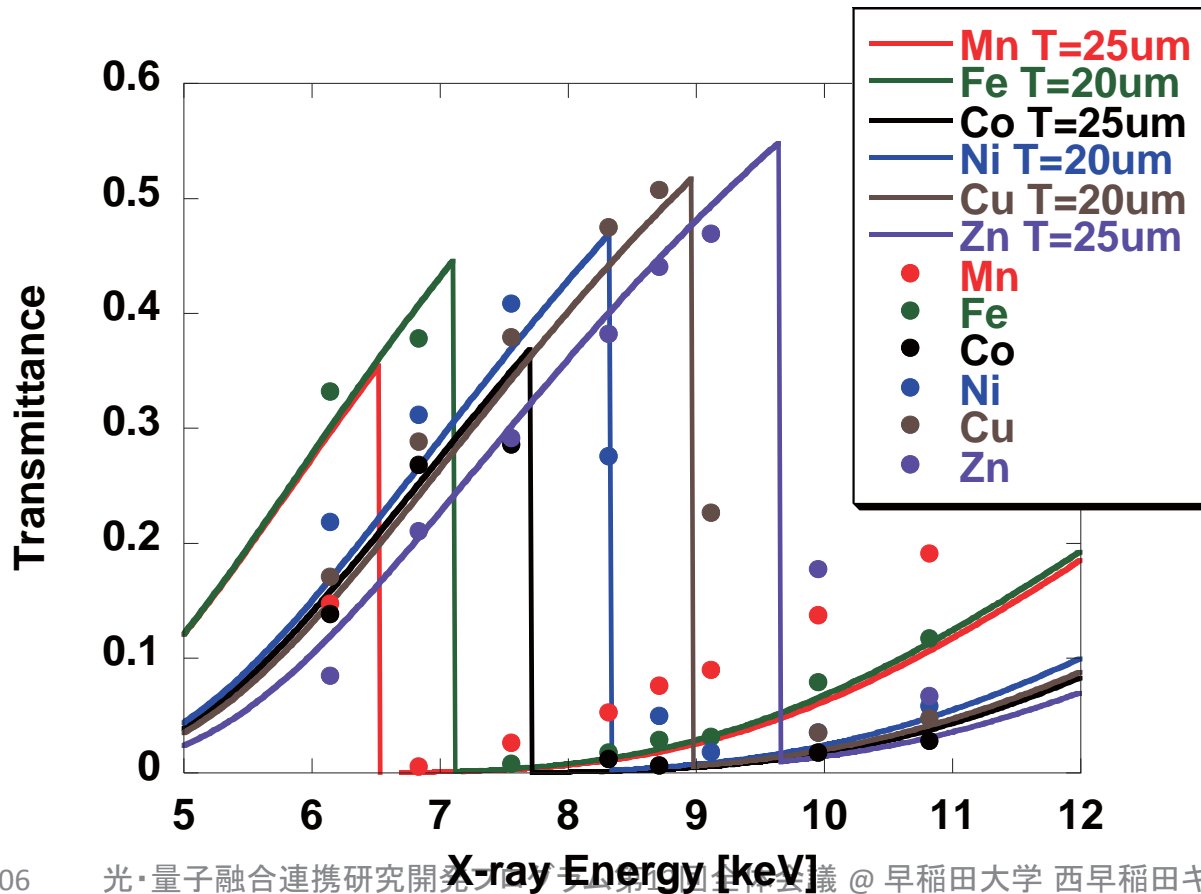


18MeV



透過率

実際の透過率の値と合うように横軸を決めて同時にプロットしてみた。
Mnの透過率が少し異なっている。Mn箔の仕様は25umだが、ポリエステルサポート付となっているのが影響していると思われる。



位相イメージング

1枚:30分
格子の角度を変えながら撮影。
サンプルあり×5枚
サンプルなし×5枚

e- beam:

21.9MeV, 380nC, 700bunches

80um x 60um

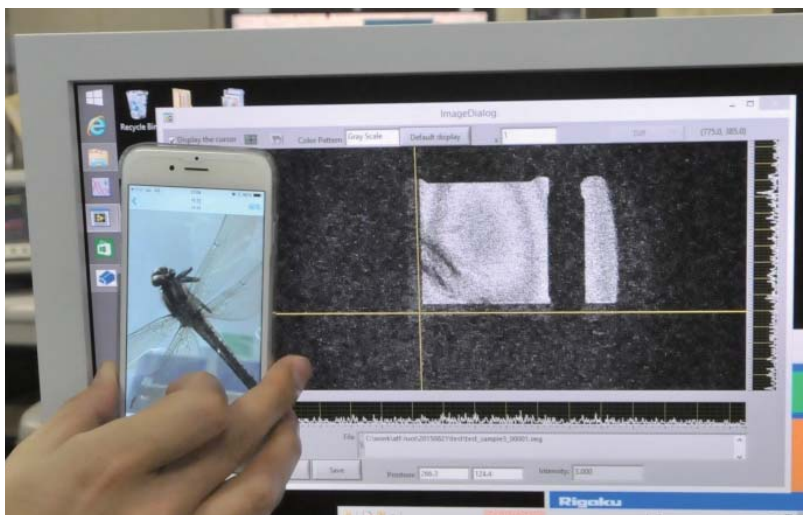
Laser:

1064nm, 220-300kW, 89um x 85um

X-ray energy: 9keV

HyPix-3000上で0.923ph/sec/pixel (格子なし)

衝突点で 3.28×10^6 ph/sec

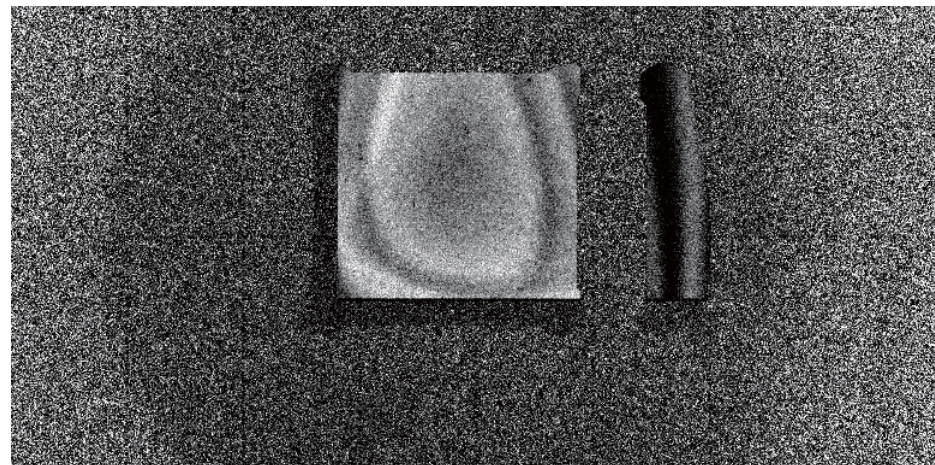
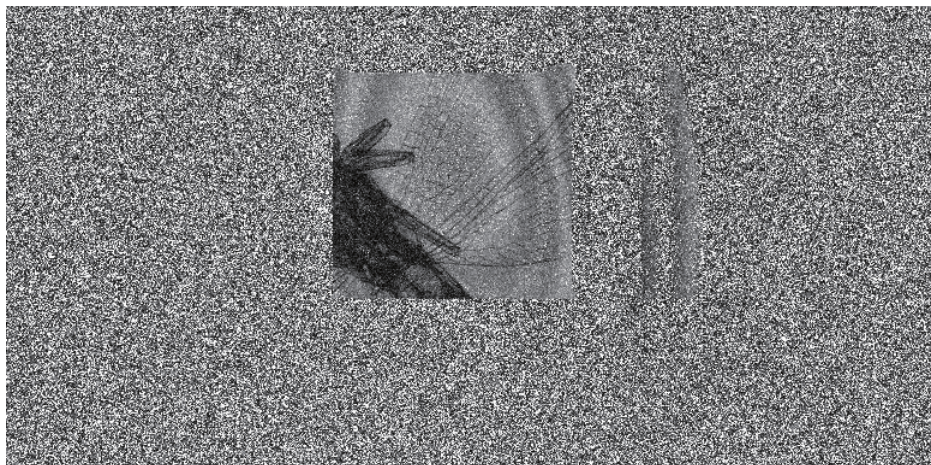
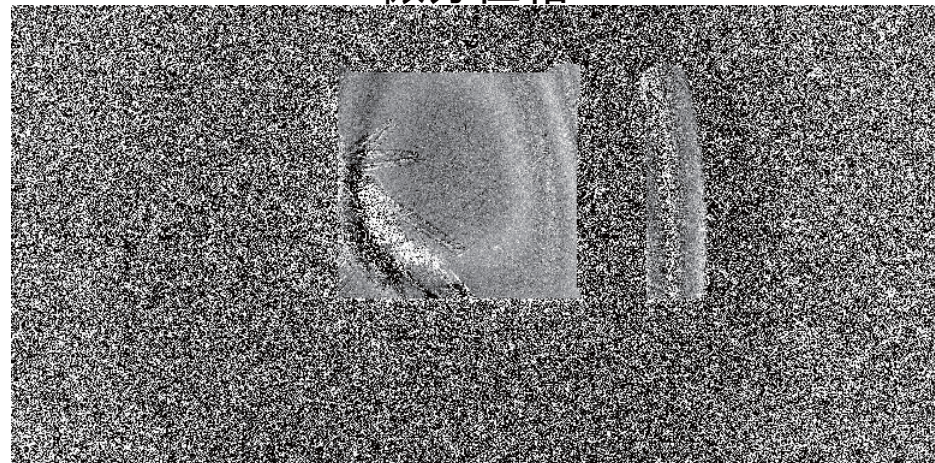
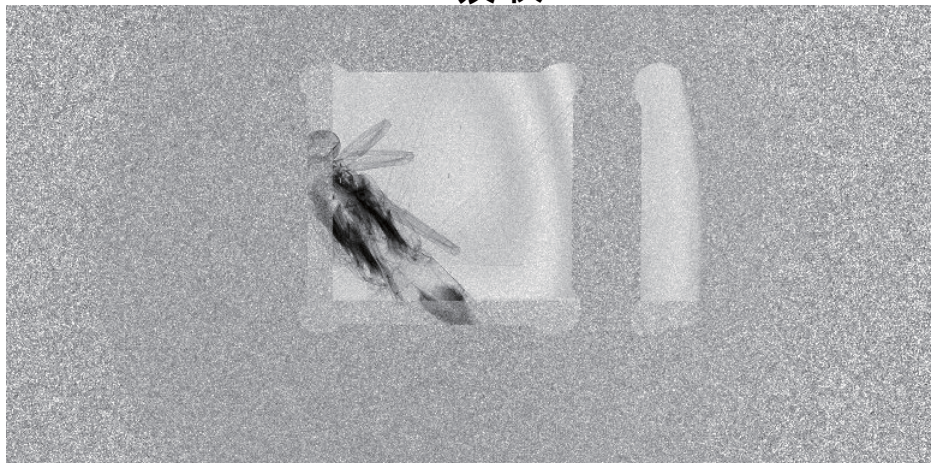


位相イメージング(トンボ)

測定当日に出したイメージングの結果。

吸収

微分位相



ビジビリティ

サンプルなし(BG)

まとめと今後

- まとめ

- 振動源やノイズ対策、フィードバック系のパラメーターの最適化により、蓄積パワーの安定度を7%(rms)に改善できた。
- ポツケルスセルの利用でバーストアンプによる増幅率を上げ、最大1MWまで蓄積できた。
- ただ1MWで10秒間蓄積後、ミラーがダメージを受けた。
- ミラー破壊前の860kW蓄積時のX線数は衝突点で 1.1×10^7 ph/sec
- X線イメージング試験としては、吸収端イメージおよび位相イメージングを行った。この時のX線数は衝突点で 3×10^6 ph/sec。
- 3×10^6 ph/secだと位相イメージングの撮影に5時間かかる。20-100倍のX線数が必要。

- 今後

- 電子ビーム
 - 1000バンチの電子ビームでトレインの後ろほどバンチ電荷が下がっているのを改善。
 - Gunの加速電界を上げることや、オプティクス調整により衝突点サイズを小さくする。
- レーザー蓄積装置
 - 破損したミラーは交換済み。600kWまでは蓄積を確認している。今後もう一度パワーを上げて1MWで壊れるのか見る。
 - 凹面鏡間の距離を調整して、レーザースポットサイズを小さくする。同時にミラー上のサイズも広がるので、蓄積パワーをさらに上げられるはず。