

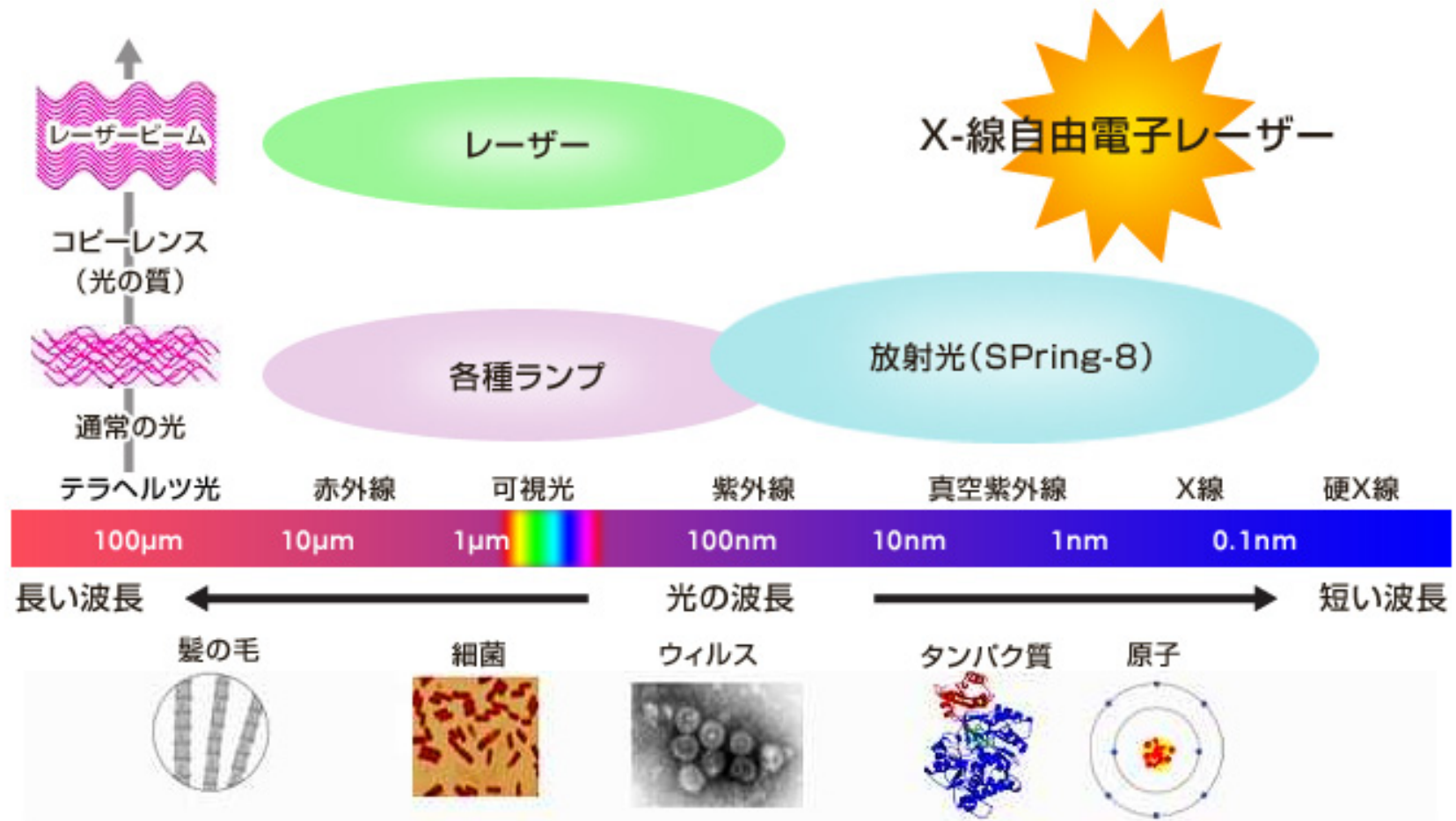
SACLA用 X線2次元検出器の開発 (MPCCD)

計測システム検討会 2013@核融合研
2013/7/10

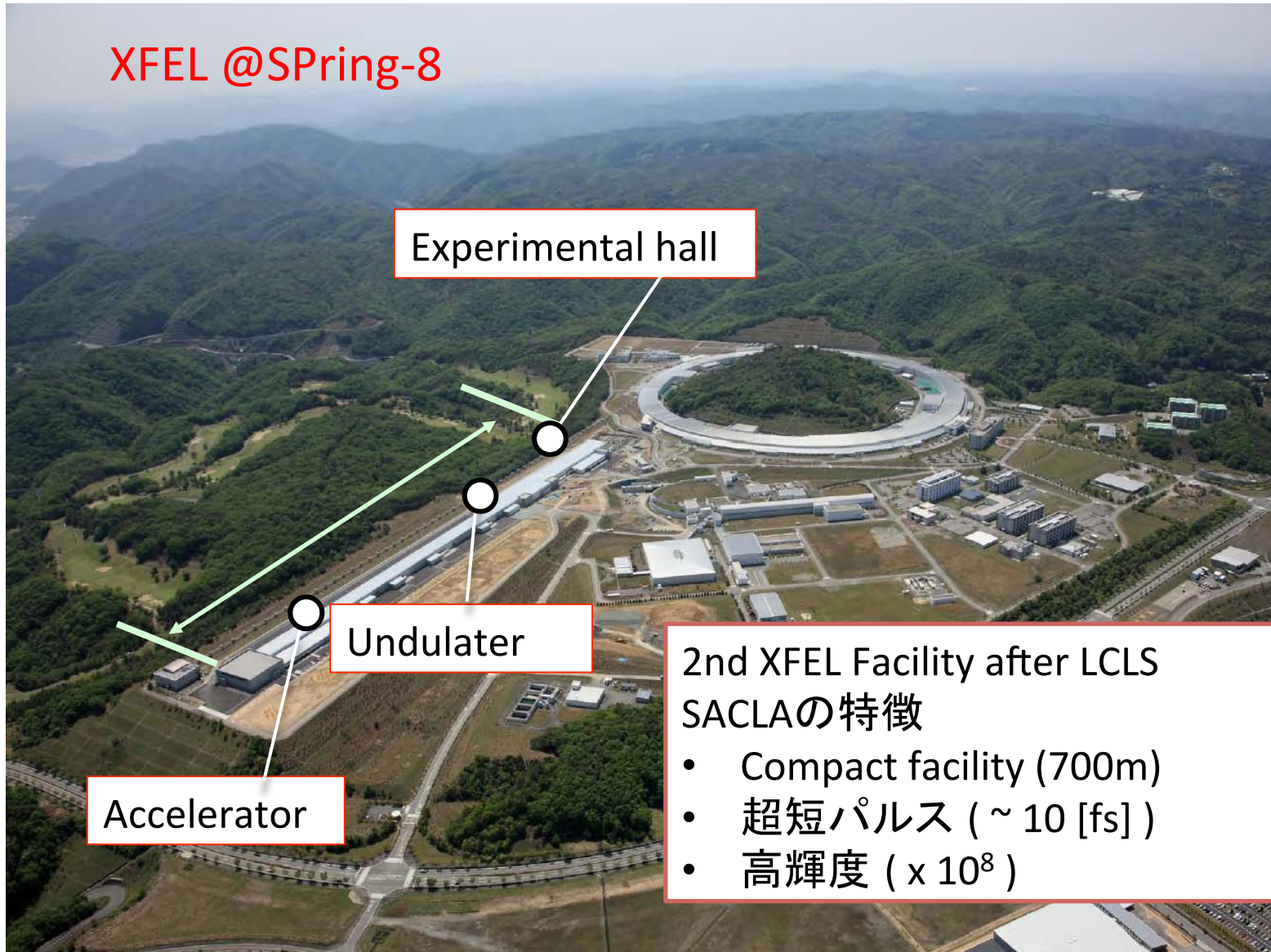
理化学研究所 SPring-8
小野 峻

XFEL

X線自由電子レーザー (X-ray Free Electron Laser)
放射光 (強力なX線) とレーザー (波の揃った高品質な光) の両方の特長をもった光

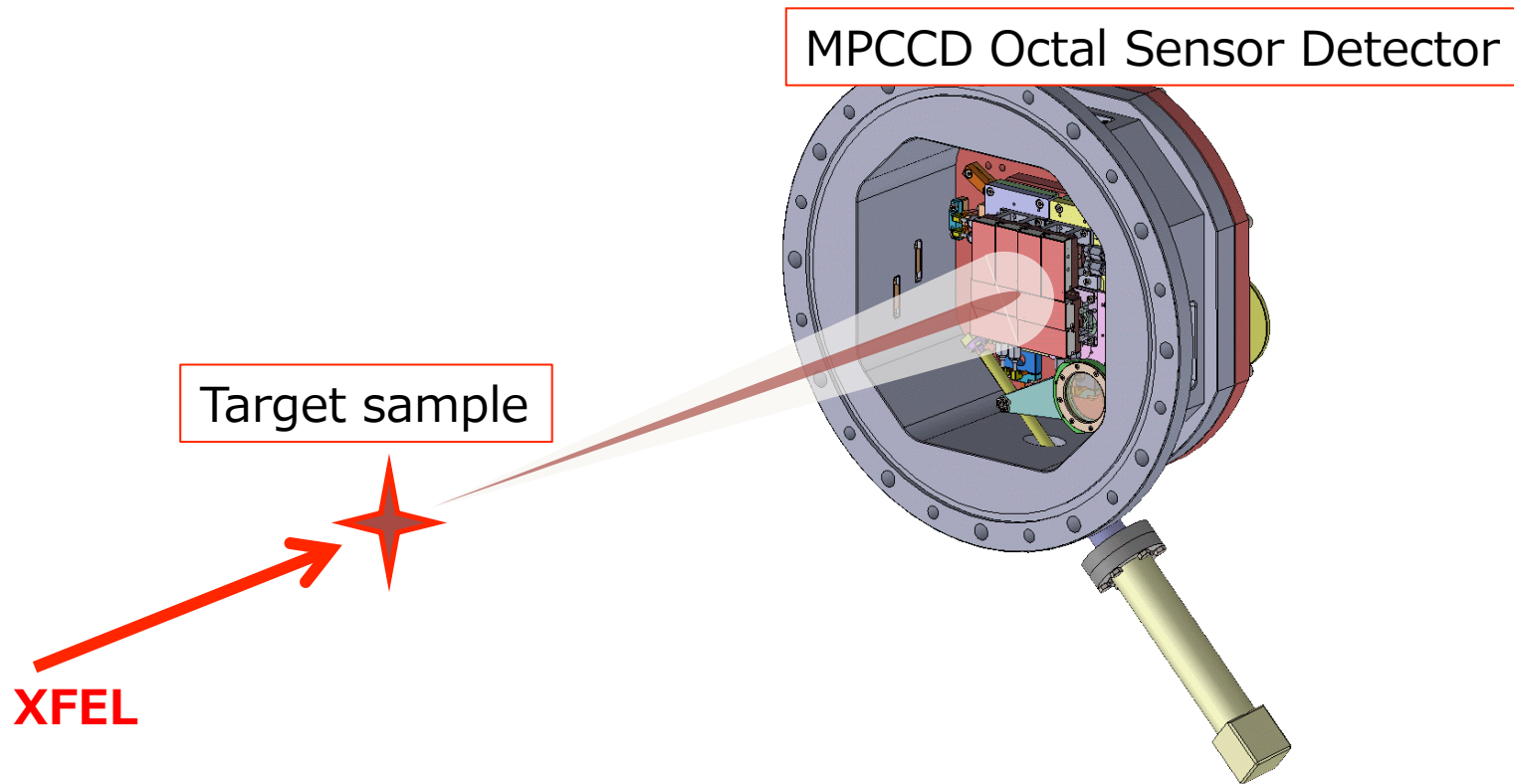


SACLA: An X-ray free-electron laser facility at SPring-8 site



Coherent X-ray Imaging

Coherent X-ray Imaging at SACLA with MPCCDs



Detector requirement

Features of XFEL experiment signal

Femto-
second X-ray
pulse

60Hz

2D wide
angle

Detector requirement

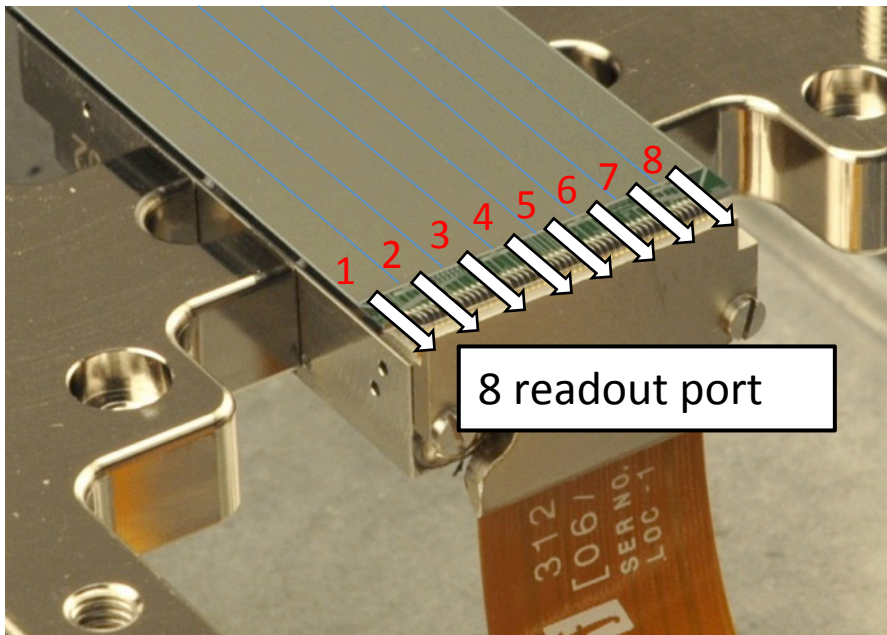
- Fast readout
- Large dynamic range for single shot
- Large sensitive area
- Radiation hardness

MPCCD

(Multi-Port Charge Coupled Device)

Requirements

- Fast readout
- Large dynamic range
 - ✓ Single photon detection
 - ✓ Large peak signal

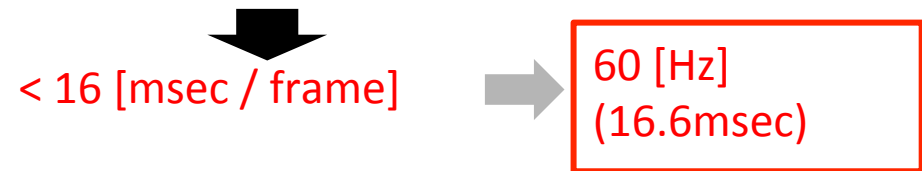


Multi-port readout

Readout parameters

Pixel readout: 5.56 [MHz / port]
(180 nsec)

Line transfer time: 3.2 [μ sec]



Sensor specification

Pixel size: 50 [μ m]

Image format: 512 x 1024 [pixel]

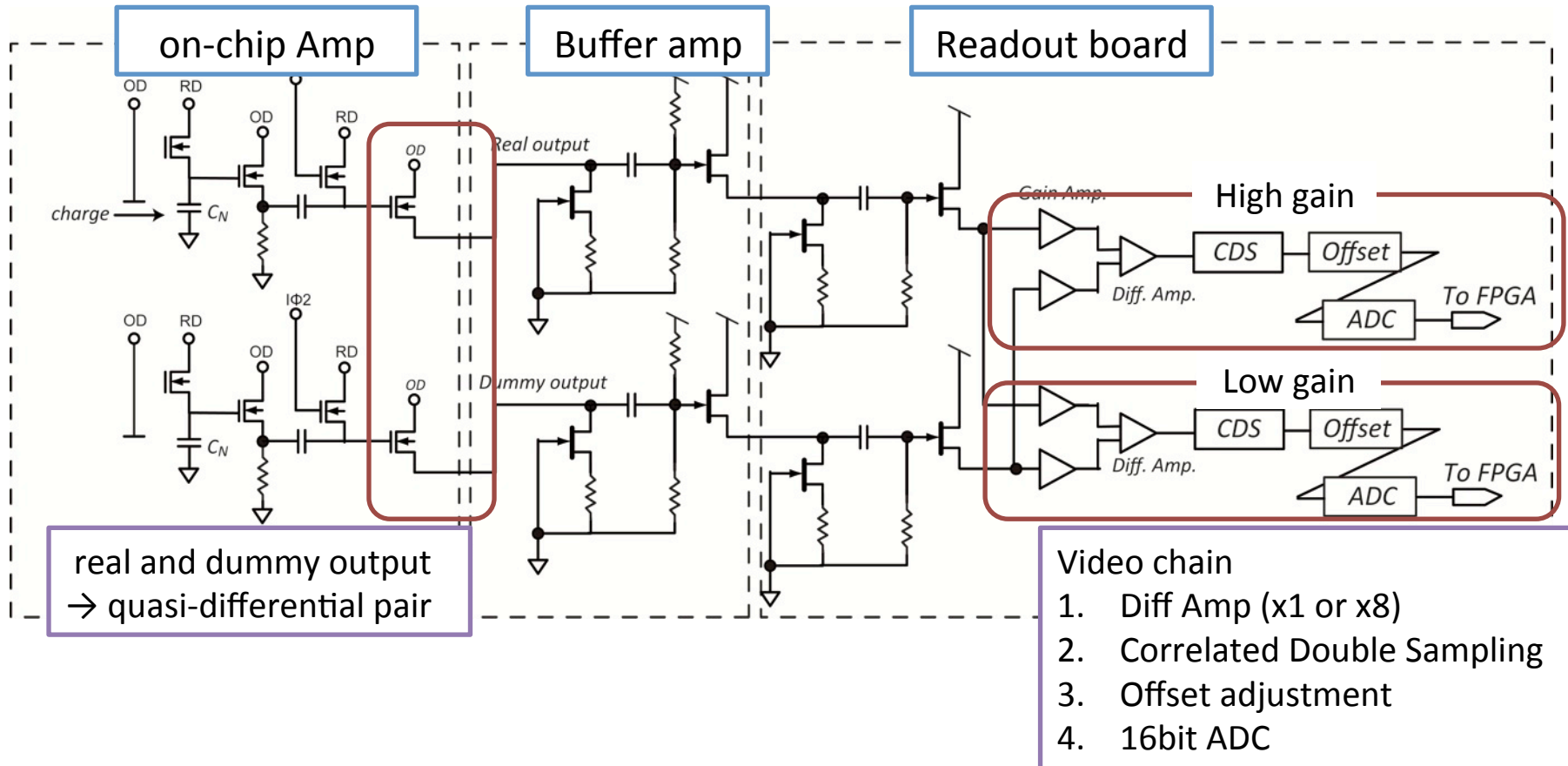
Peak signal: \sim 2700 [photon@6keV]

System noise: \sim 0.18 [photon@6keV]

Readout electronics

Required dynamic range(Peak signal; $5Me^-$, readout noise; $110e^-$)
⇒ 15~16 bit

- video chain for MPCCD: Schematic for a readout port
 - Frame rate: 30Hz (Pixel readout: 3.3MHz)

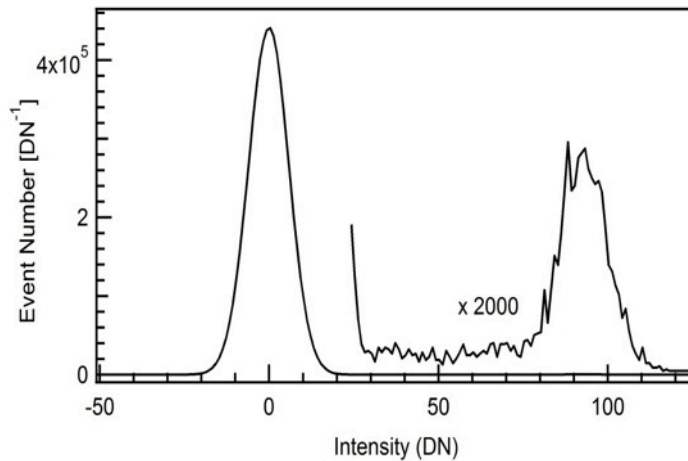


MPCCD performance: Noise and Peak signal

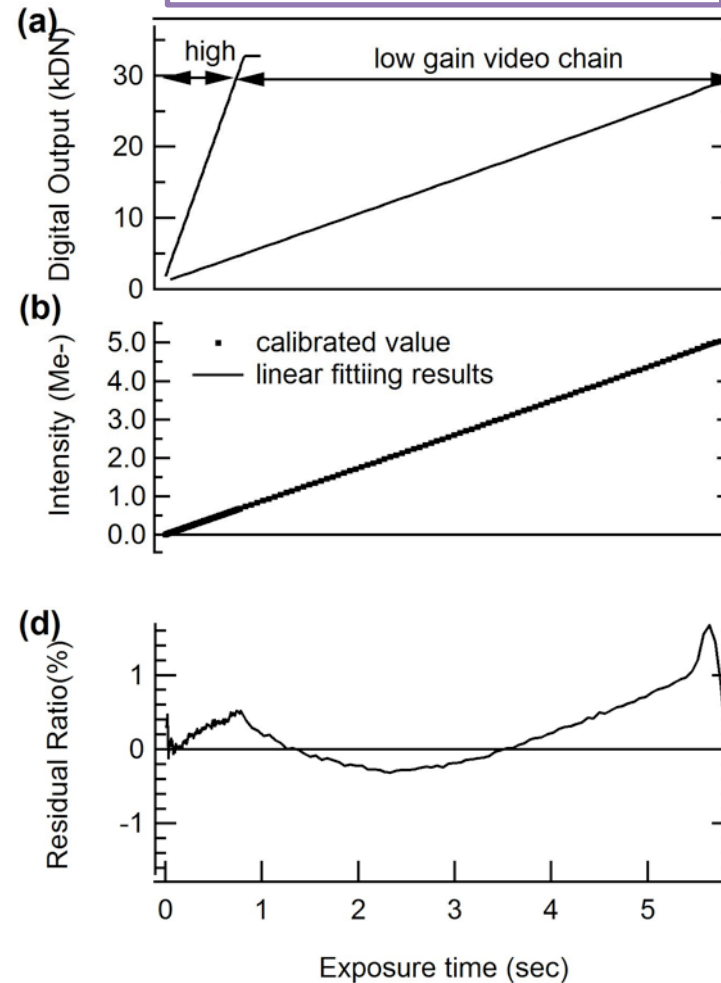
Detector performance

- System noise: $< 250e^-$
($< 0.18[\text{photon @ } 6 \text{ keV}]$)
- Peak signal: $> 3.5Me^-$
($2100 [\text{photon @ } 6 \text{ keV}]$)

Single photon Detection Fe55 (5.9keV)



Peak signal and linearity

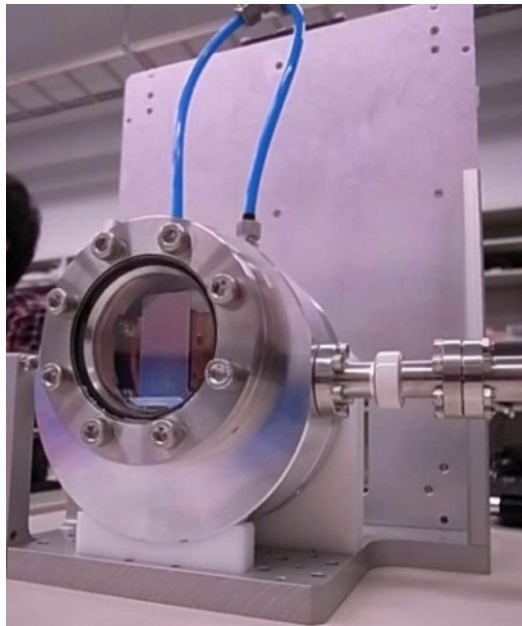


MPCCD detector family

- 様々な実験に対応するため複数センサー組み合わせによる検出器を用意
 - Single(MPCCD x1), Dual(MPCCD x2), Octal(MPCCD x8)

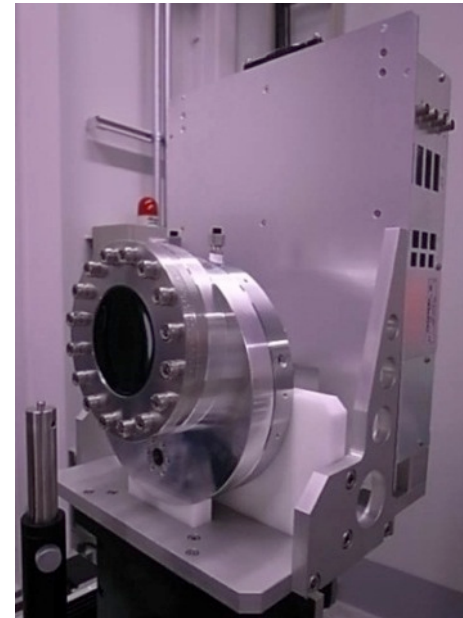
Single detector

54.6 x 26.2 mm²



Dual detector

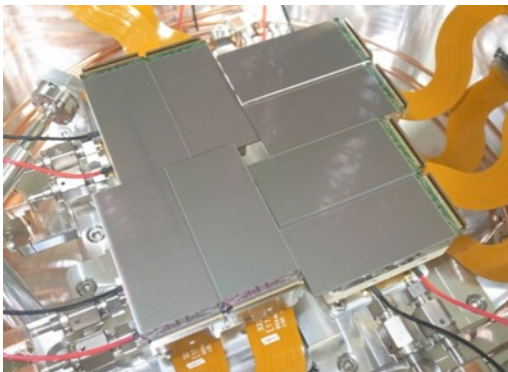
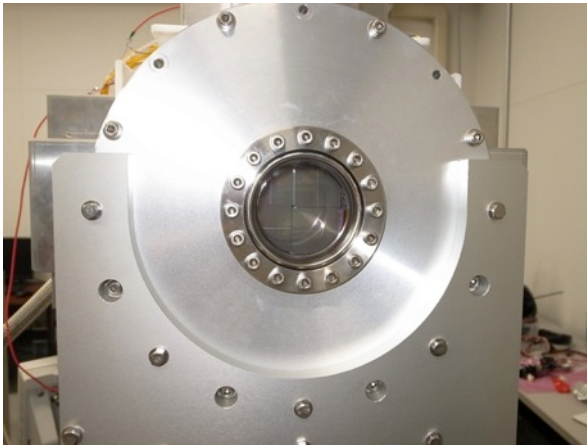
54.6 x 52.1 mm²



MPCCD detector family

Octal detector

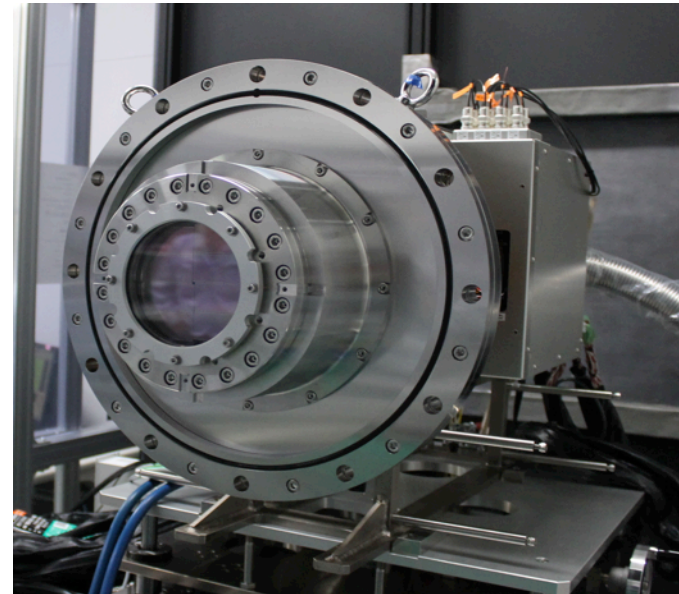
~ 110 x 110 mm²



Octal detector

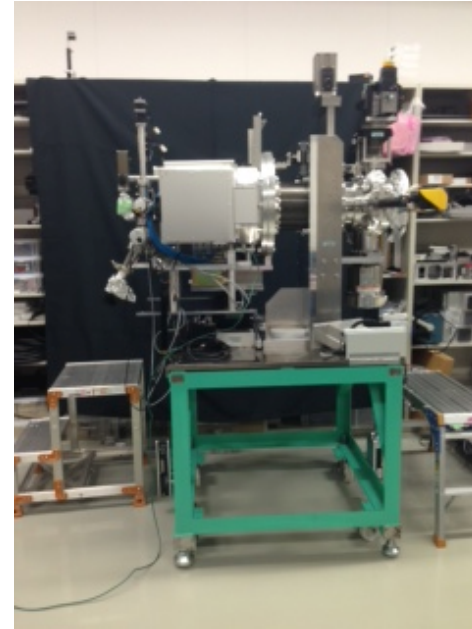
(Short Working Distance)

110 x 110 mm²



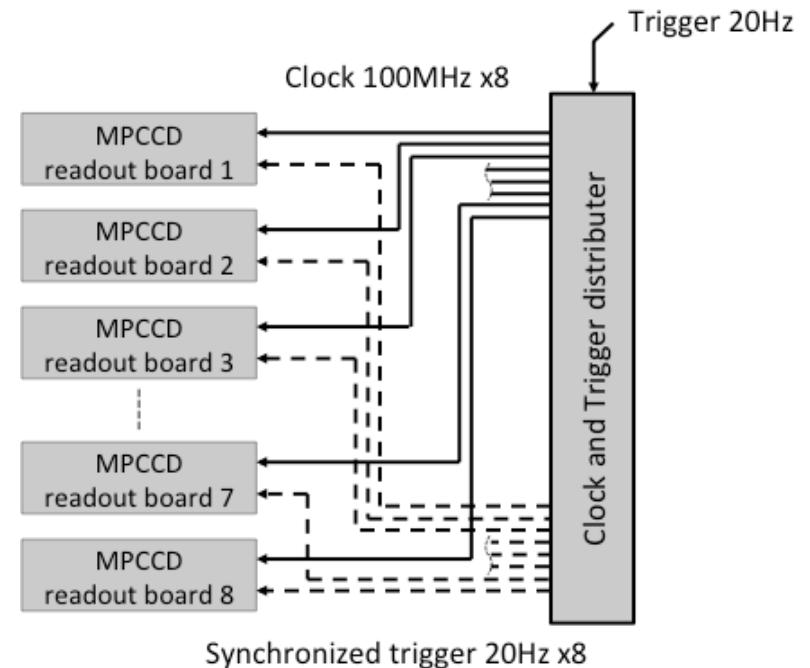
Operation status

- リリース台数
 - Single検出器: 4台
 - Dual検出器: 2台
 - Octal検出器: 3台 (Octal x2、SWD x1)
- 運用状況
 - 固定配置ではなく可搬ラックに搭載し実験ごとに運搬と配置を行う
 - 検出器は約2時間程度で動作環境を整備する必要がある
 - 検出器配置、配線接続、電源投入、動作確認



Sensor synchronization

- 複数センサー同期の必要性
 - センサーが同タイミングで動作しない場合、干渉により要求性能が達成できない
- Dual/Octalではクロック・トリガの同期動作駆動
 - クロック:
 - 読み出しボードの源振(100MHz)を出力
 - トリガ:
 - 加速器側からXFEL出力に同期したトリガ(20Hz)を入力
 - 分配器内でクロックに同期して出力



問題点:

分配器からボードへの経路で外来ノイズの混入による誤動作

→環境により動作が不安定になる(2~3日の稼働で1回程度のFault)

対策:

ボード側受信にRFTランス配置、絶縁入力に変更予定

Detector calibration

- 検出器への補正
 - 補正の必要性
 - ハードウェア上での問題は、回路側での対策を実施
 - 回路対策が困難な部分については、ソフトウェアキャリブレーションを実装
 - 現状の補正内容
 - バックグラウンド変動の除去
 - ポート間クロストークの抑制

Background drift

バックグラウンドレベルの変動

- センサー・回路部の温度変動
- 外来ノイズの混入



変動対策

- センサーのPID温度制御: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- 疑似作動読出による安定化

変動レベル

380 e⁻ (150 μVrms) p-p

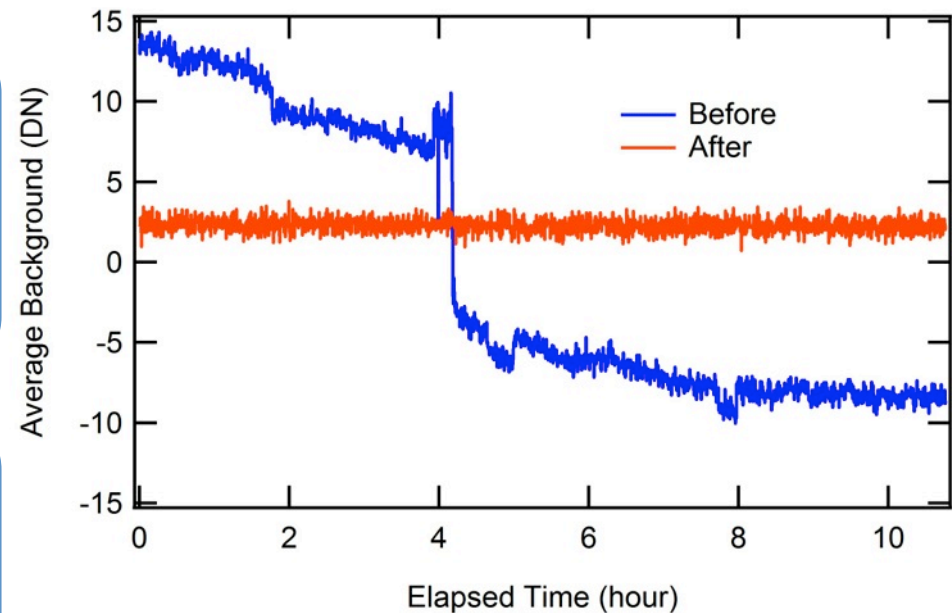
ソフトウェアキャリブレーション

- Over-scan pixelをサンプリングしReal pixelの計測値から差し引く

変動レベル

30 e⁻ p-p (12 μV)

Background drift (1 DN = 18 e⁻)



Inter-port crosstalk

ポート間クロストーク

- 各ポート電源ラインの共通化
→隣接ポート間のクロストーク増大

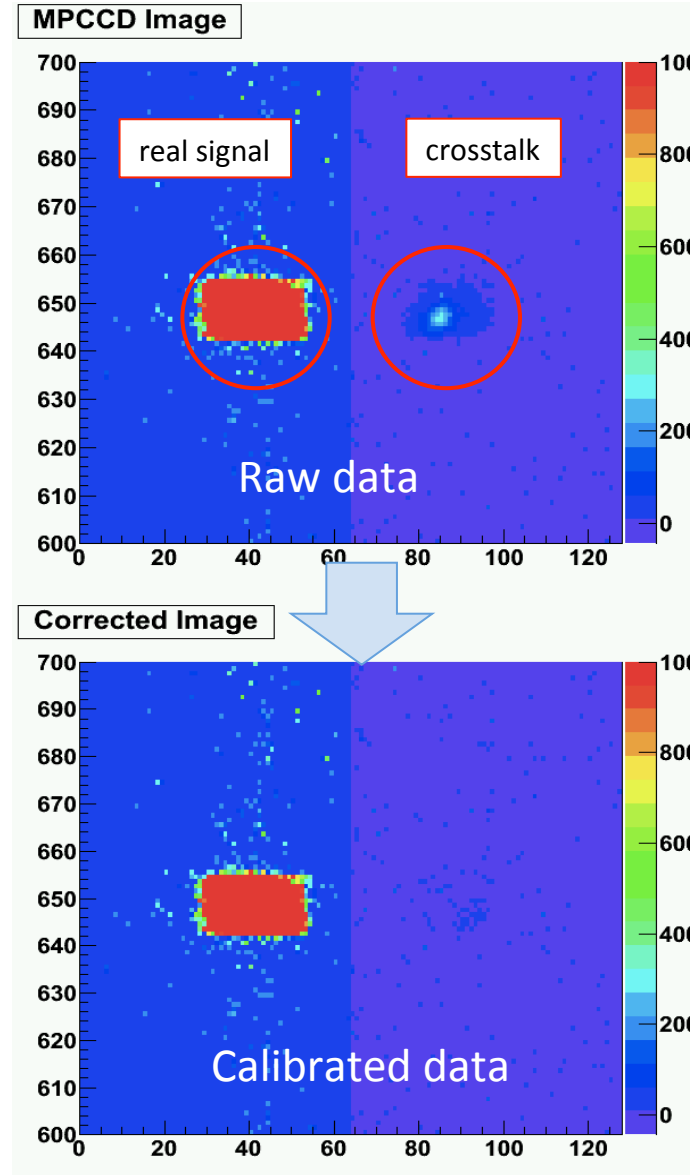


クロストーク対策

- 疑似作動出力
電源ライン変動の影響を抑制
- 隣接ポート間クロストーク
2000-2500 ppm

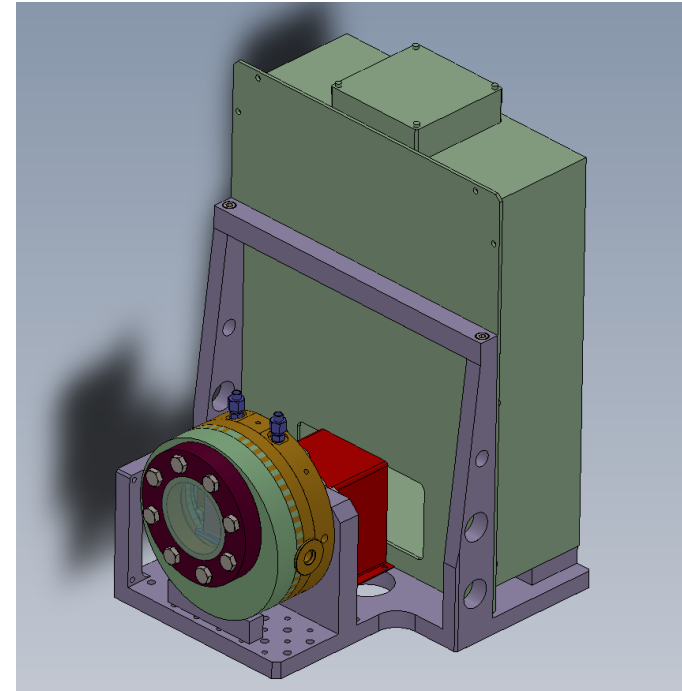
ソフトウェアキャリブレーション

- 隣接するポート間での、シグナル強度に応じたクロストーク補正を実施
- 隣接ポート間クロストーク
< 100 ppm



Detector upgrade

- 読み出し回路のアップグレードの必要性
 - 小型化
 - 様々な実験配置に対応可能とする
 - $25 \times 30 \text{cm}^2 \rightarrow 5 \times 15 \text{cm}^2$?
 - 回路部のASIC化
 - 高速化
 - 加速器アップグレードへの対応
 - $30 \text{Hz} \rightarrow 60 \text{Hz}$
 - ドライブ回路部の変更
 - システムの可用性向上
 - 環境変化(外来ノイズ等)への耐性向上
 - 検出器からのモニターラインの用意



新規の読み出しボード開発を検討

- 市販ASICを組み合わせたシステム構築による開発期間短縮
- 現在、評価回路を構築しテスト中

Summary

- SACLA XFEL用検出器の開発・整備の現状

- 実現

- 高速読み出し、広ダイナミックレンジの確保

	Target performance	Current performance
Frame rate	60Hz	30Hz
System noise	300e-	< 250e-
Peak signal	4.4Me-	> 3.5Me-

- Single/Dual/Octalの開発
 - ソフトウェアキャリブレーションの実装

- 課題

- 同期動作の安定化

- アップグレード

- センサーの高度化(空乏層厚 50 -> 280um)

- 読み出しボードの改版

- 小型、高速、安定動作の向上を念頭に置き開発中