

広いダイナミックレンジを持つ μ PIC-2次元X線画像検出器の開発



京大理、理研播磨研^A、東工大理工^B、
Spring-8/JASRI^C、東大新領域^D
服部香里

谷森達、窪秀利、身内賢太郎、土屋賢一、
井田知宏、高田昌樹^{A,C,D}、伊藤和輝^A、
植草秀裕^B、藤井孝太郎^B、唐金祐次^B

新しい物質構造解析を目指して



- **High speed**

巨大分子(たんぱく質)、創薬、材料

→ measurements in a couple of minutes

- **広いダイナミックレンジ**

→ 10^4 - 10^5 (積分型検出器: CCD, Imaging Plate)から 10^7 - 10^8 へ

→ 高精度測定を実現(異常分散等)

→ 軽い元素を含む物質の構造解析

- **時分割測定**

反応のダイナミクス、光反応、酵素反応
連続変化を追う

(sec~ 10 msec スライスで、繰り返し測定で更に時間分解能向上)

現在のCCD, IPでは困難
計数型 + 高分解能画像

KEK大学等連携事業 17年度開始
理研播磨研高田研究室と共同研究

回折・散乱実験のための 計数型X線2次元検出器に求められる条件

1. 高い2次元位置検出能力 位置分解能が $100\ \mu\text{m}$ 以上
 2. 高計数率能 $> 10^7\text{mm}^{-2}$, $> \times 1000$ MWPC (局所的な照射で)
 3. 大面積 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 以上
 4. 不感部分が無い(つぎはぎ、接合部など)
 5. 感度の不均一性 $< 1\%$
 6. 画像歪み $< 1\%$
 7. 常温で動作、低電力
 8. メンテナンスが簡単
 9. 製作コストが安い
- さらに、連続データ読み出し可能
→折りたたみ法
高いgain
→低エネルギーX線($\sim 1\ \text{keV}$)をとらえられる
たんぱく質に自然にある硫黄の吸収端(2.3keV)

ガス検出器 μ -PICを用いた量子計測型X線画像装置

4, 6, 7, 8, 9を実現

1, 2, 5を実現すべく開発中

3. 現在: 検出部面積 $10\ \text{cm} \times 10\ \text{cm}$

$30\ \text{cm} \times 30\ \text{cm}$ も安定動作確認→今後性能評価

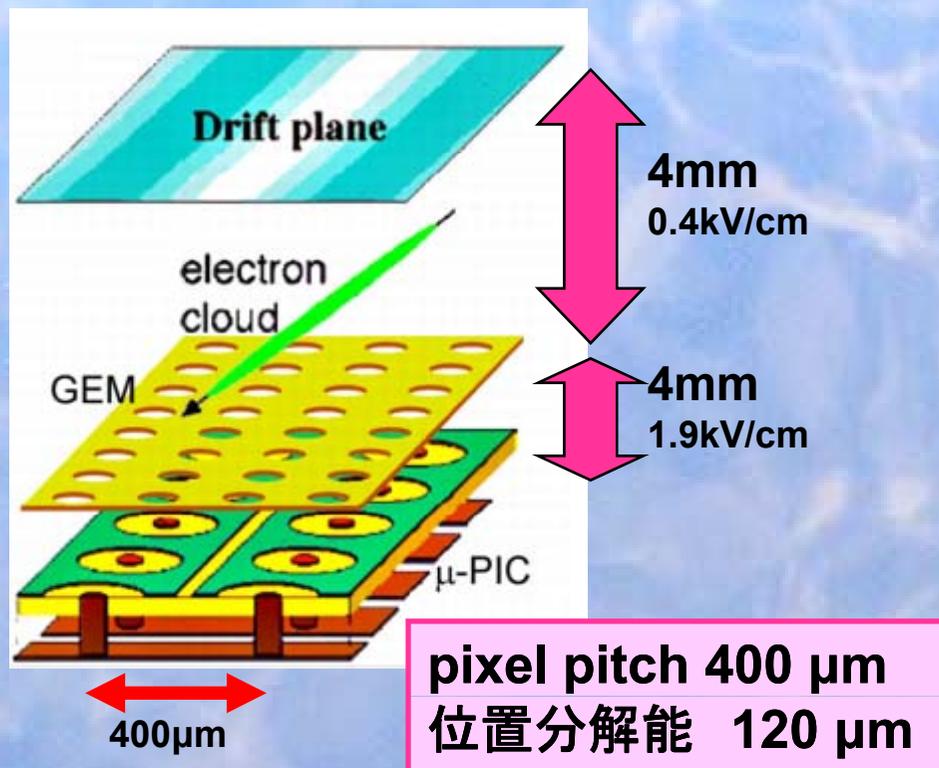
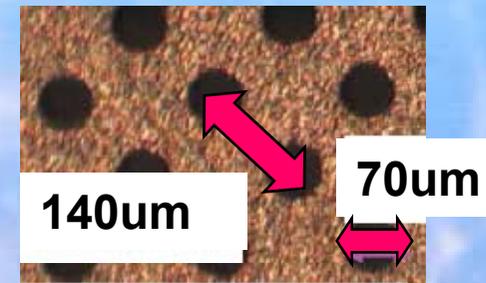
u-PIC (micro-Pixel Chamber)

2次元イメージング可能なX線検出器



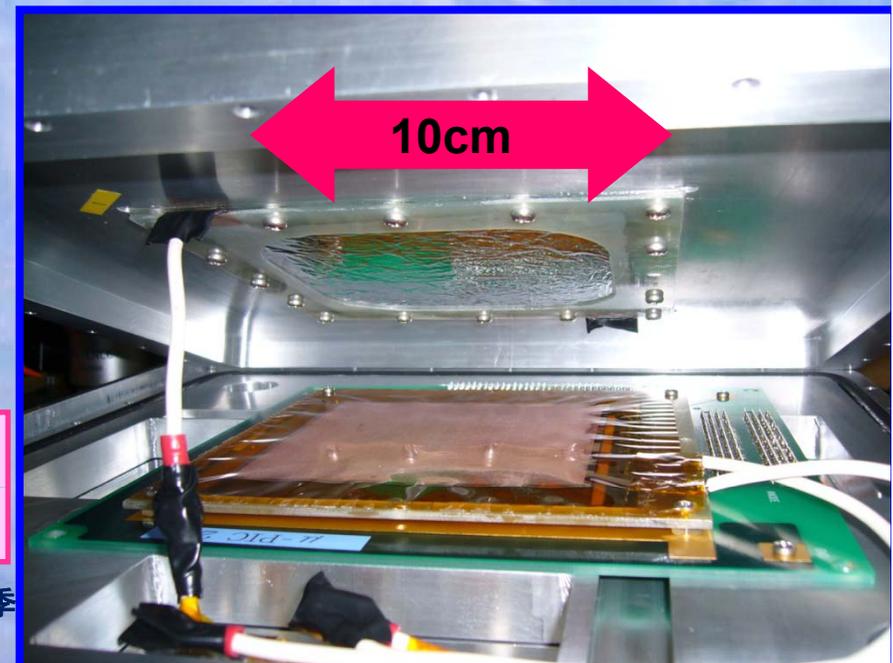
- ✓ガス中での光電効果
- ✓GEM(gas electron multiplier) gain ~ 3
μ-PIC gain ~ 5,000
で増幅
- ✓Time Projection Chamber → 電子の飛跡
→ X線を一つずつ計数

gas electron multiplier (GEM), F. Sauli (1997)



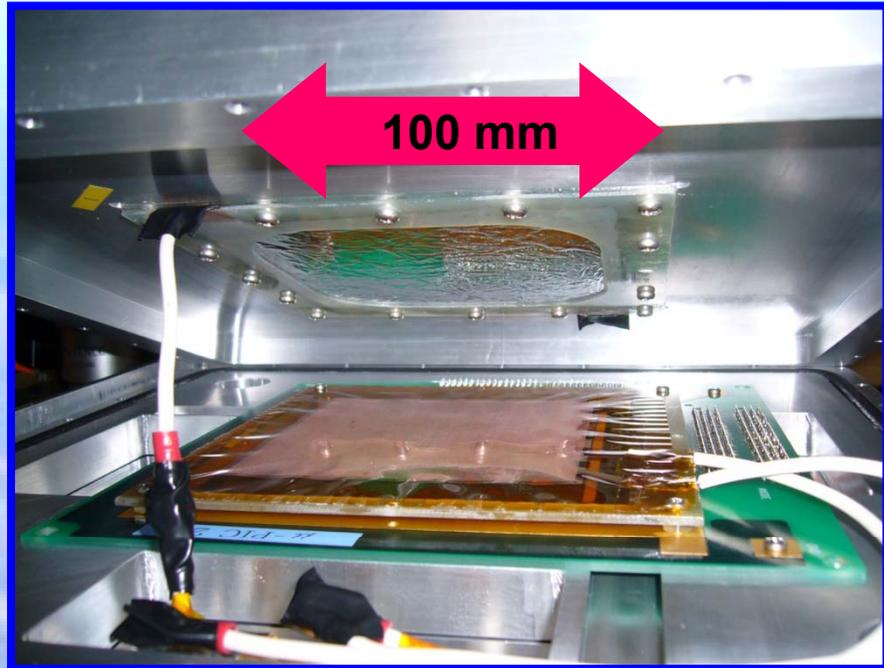
ガス : Xe+C₂H₆(70:30)

日本応用物理学会 秋季

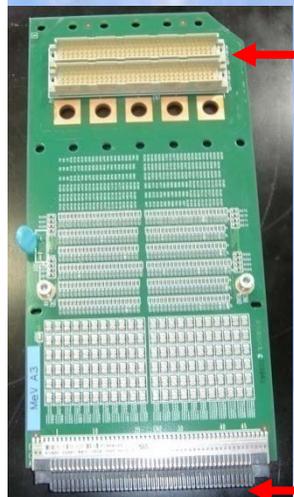


μ -PIC is kept in the sealed vessel

- ✓アルミ製密封容器に μ -PICを入れ、 $\text{Xe-C}_2\text{H}_6(70:30)$ を封入
- ✓入射窓: 0.1 mm ポリイミド
- ✓一か月以上封じ切りで安定動作
- ✓一か月でgainが1-2割低下
→thresholdはそれよりも下なので問題なし



読み出し基板

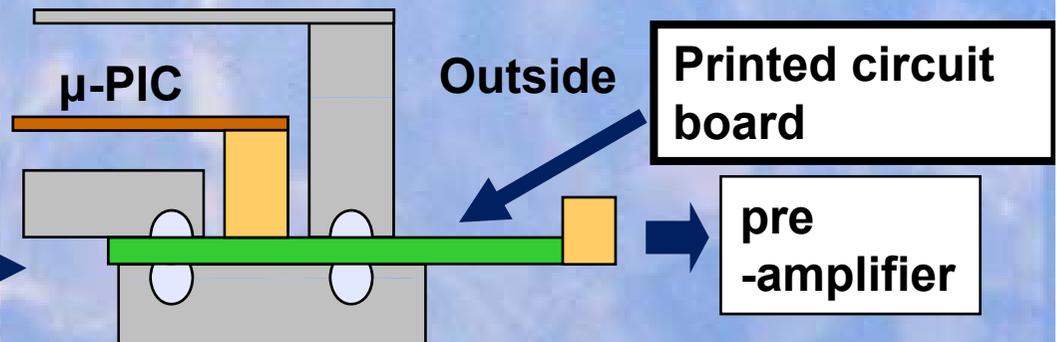


from μ -PIC

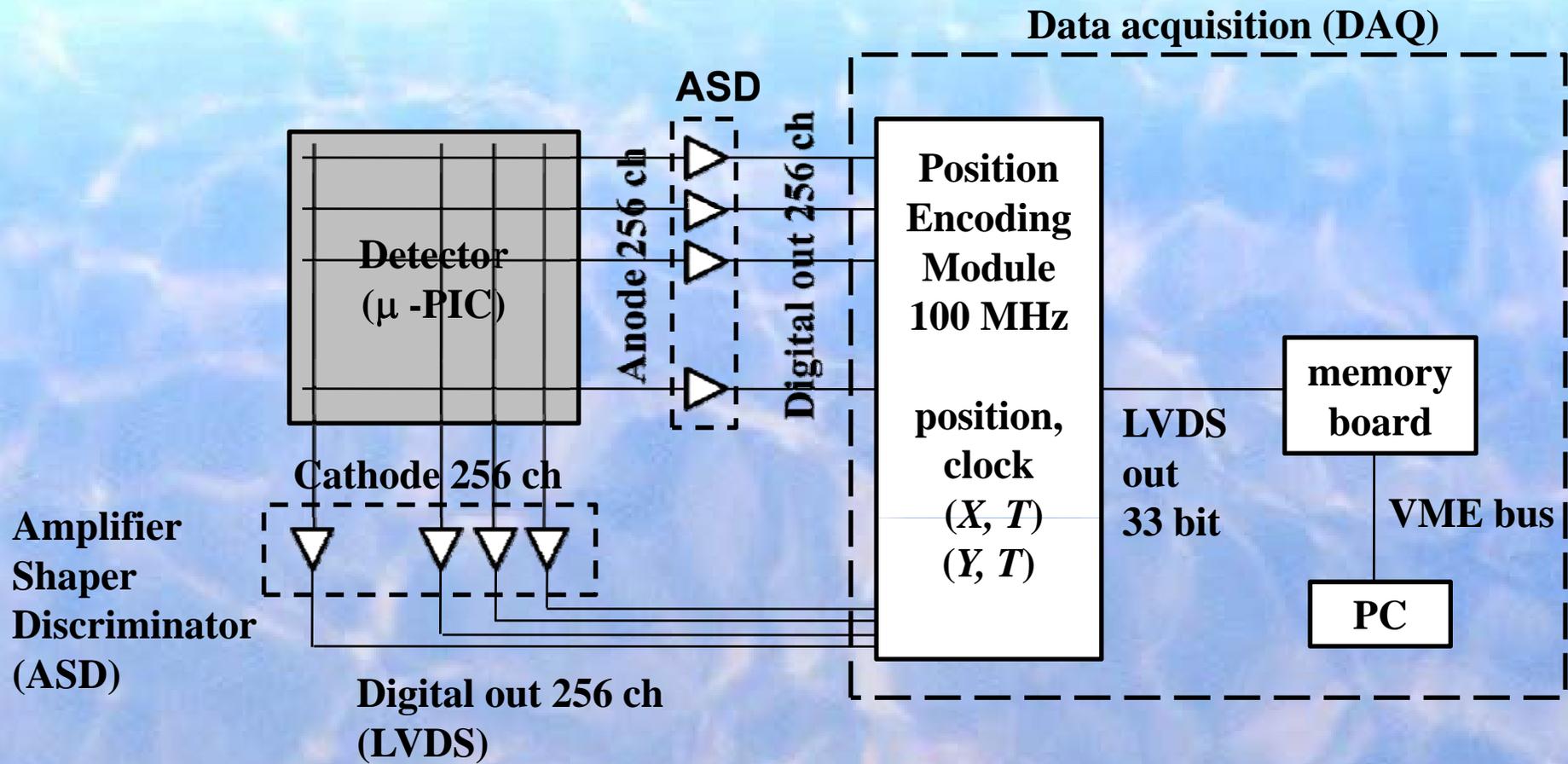
256ch per board

to pre-amplifiers

Sealed vessel



DAQ



Photonの再構成方法

Photonが入射し、ガス中で光電効果を起こすと
光電効果で蹴飛ばされた電子によって作られる電子雲

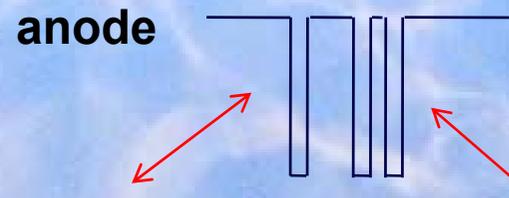
anode : 2-3 hits for ~ 100 ns

cathode : 2-3 hits for ~ 100 ns

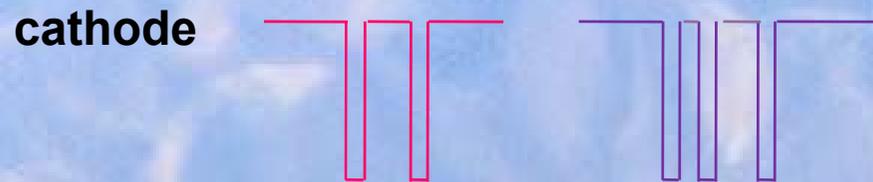


coincidence

accidental coincidenceを防ぐために



前後20 ns以内に別の
イベントがある場合はカット



20 ns

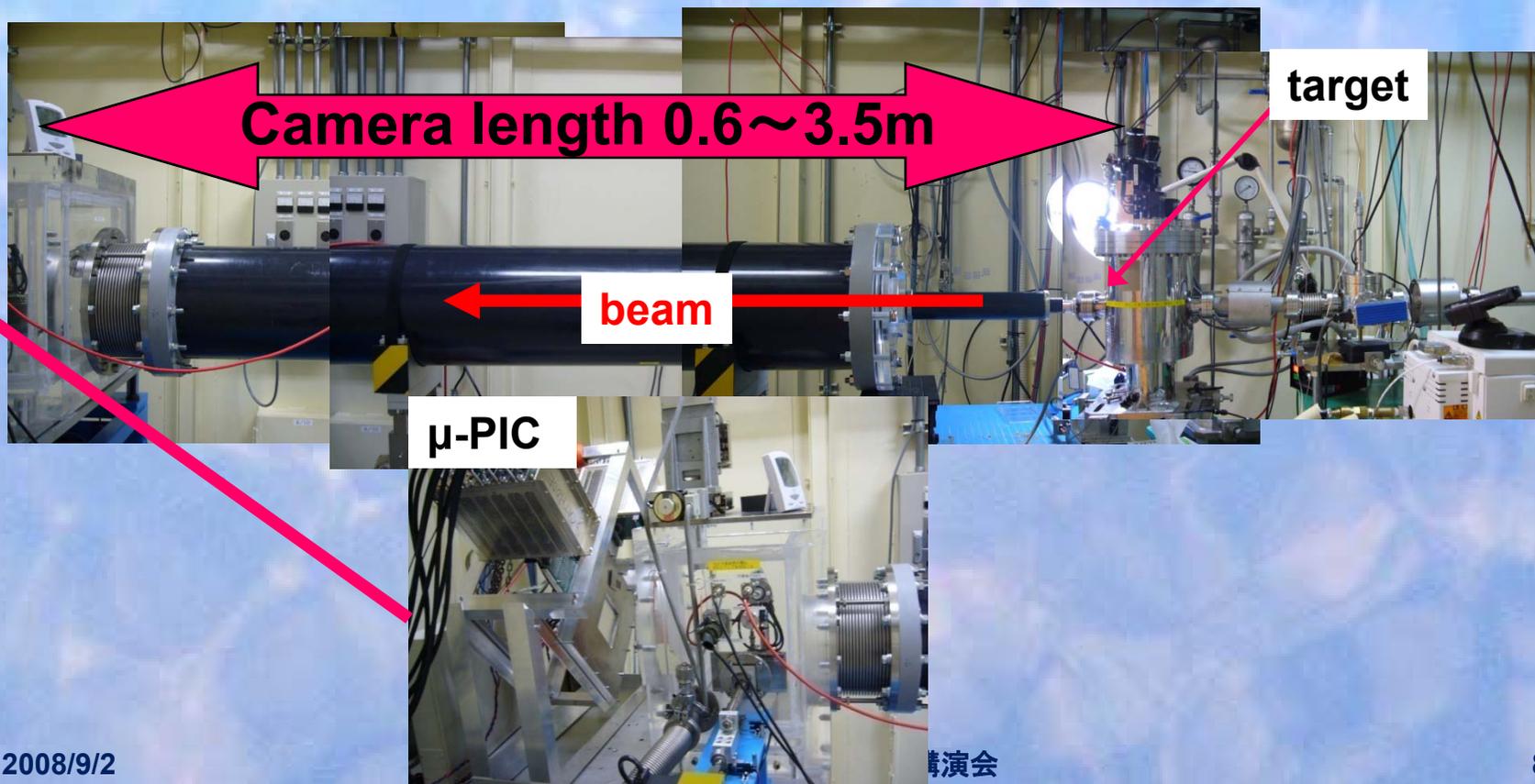
20 ns

Further improvements are necessary

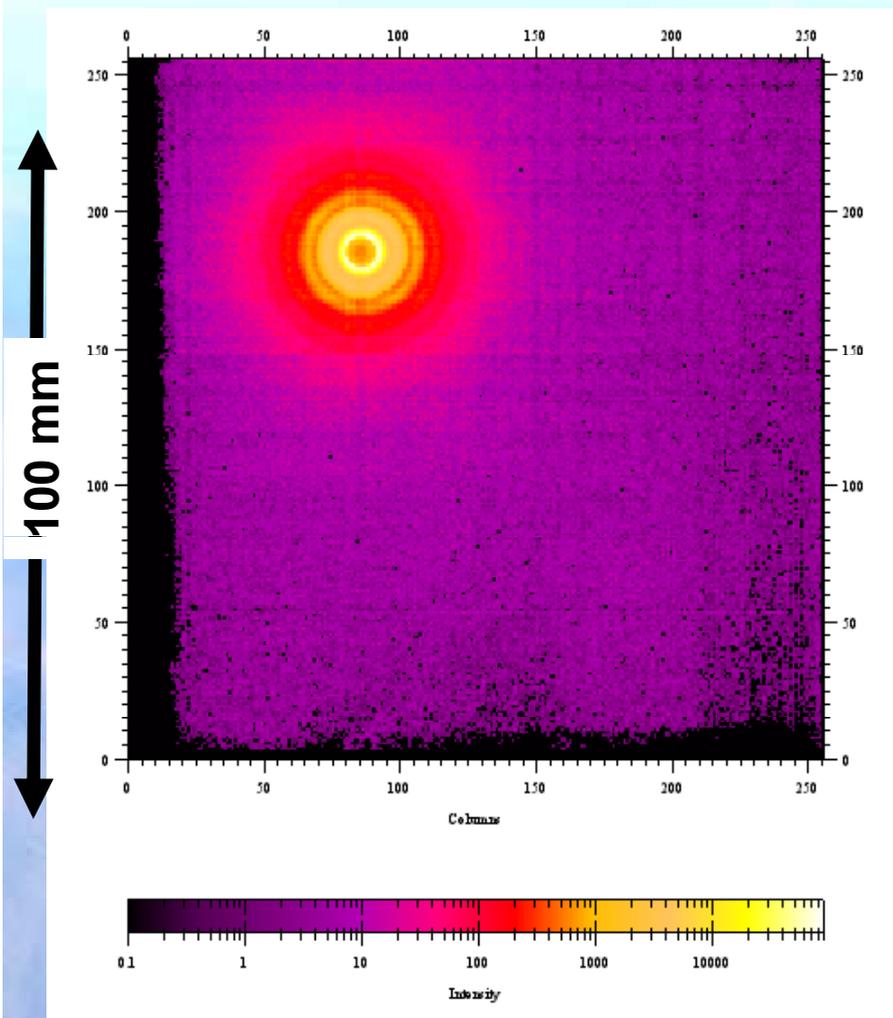
小角散乱

@SPring-8 BL45-XU SAXS station

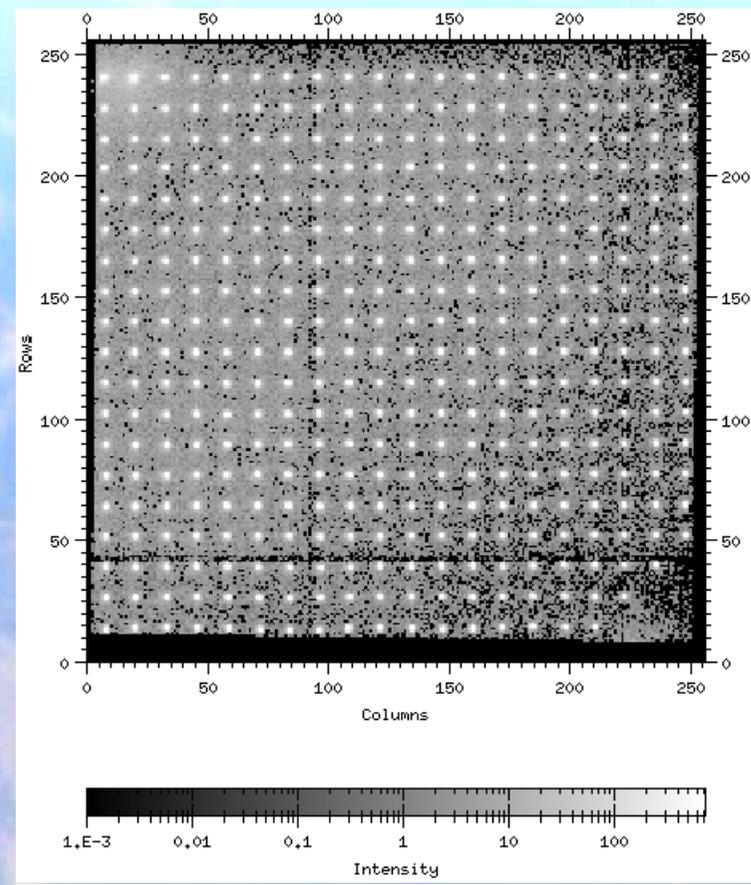
実用化に向けた性能評価試験



得られたイメージ



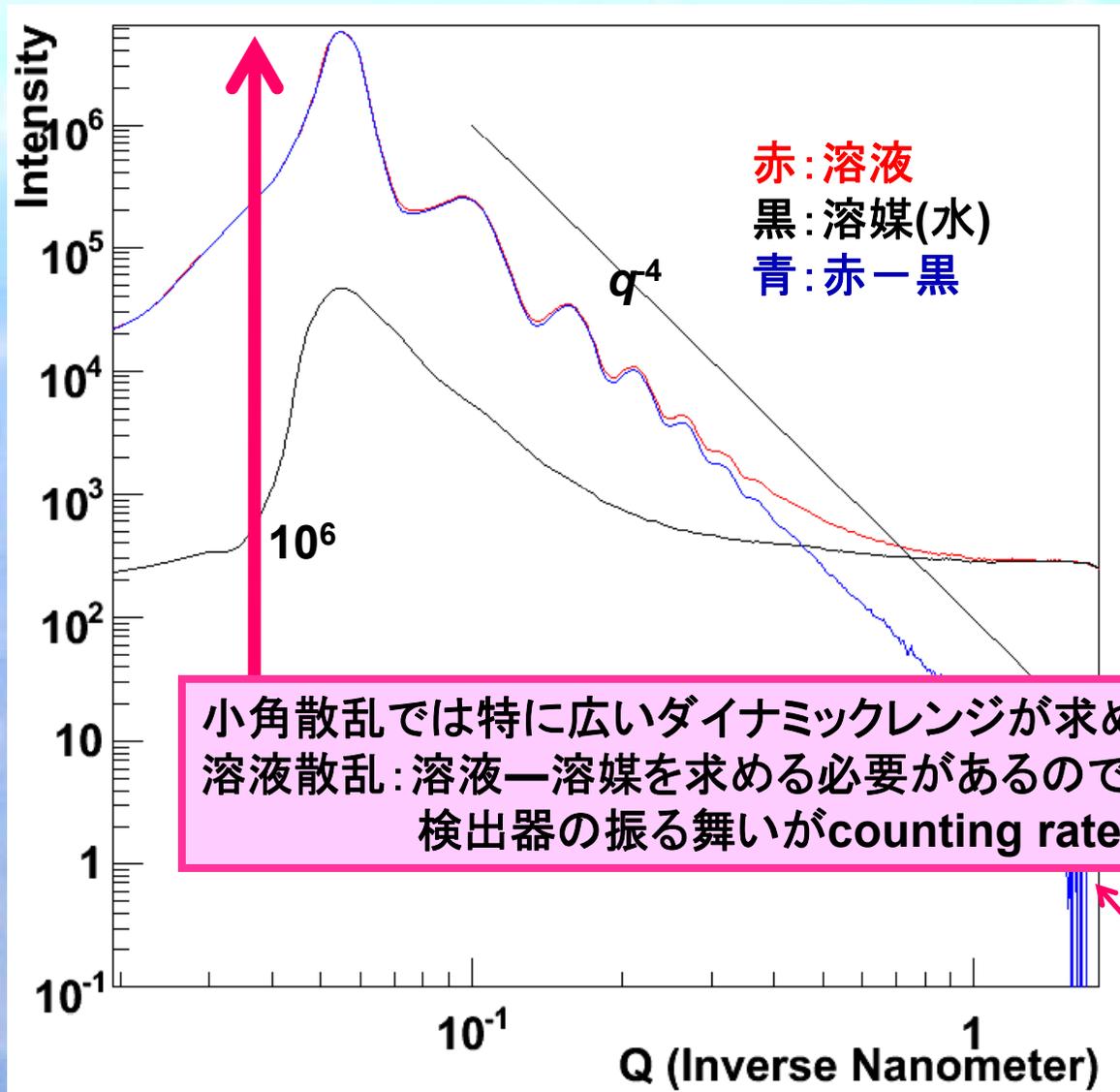
solution scattering from polystyrene latex
(110 nm, 5 mg / ml), 1.5 Å



irradiating a grid mask with scattering
from a piece of glassy carbon, 1.5 Å

一樣、イメージの歪み無し

溶液散乱 : Dynamic Range



Polystyrene latex
0.04 weight %
solid spheres of 110-nm
diameter 1.5 Å
exposure time : 154 sec

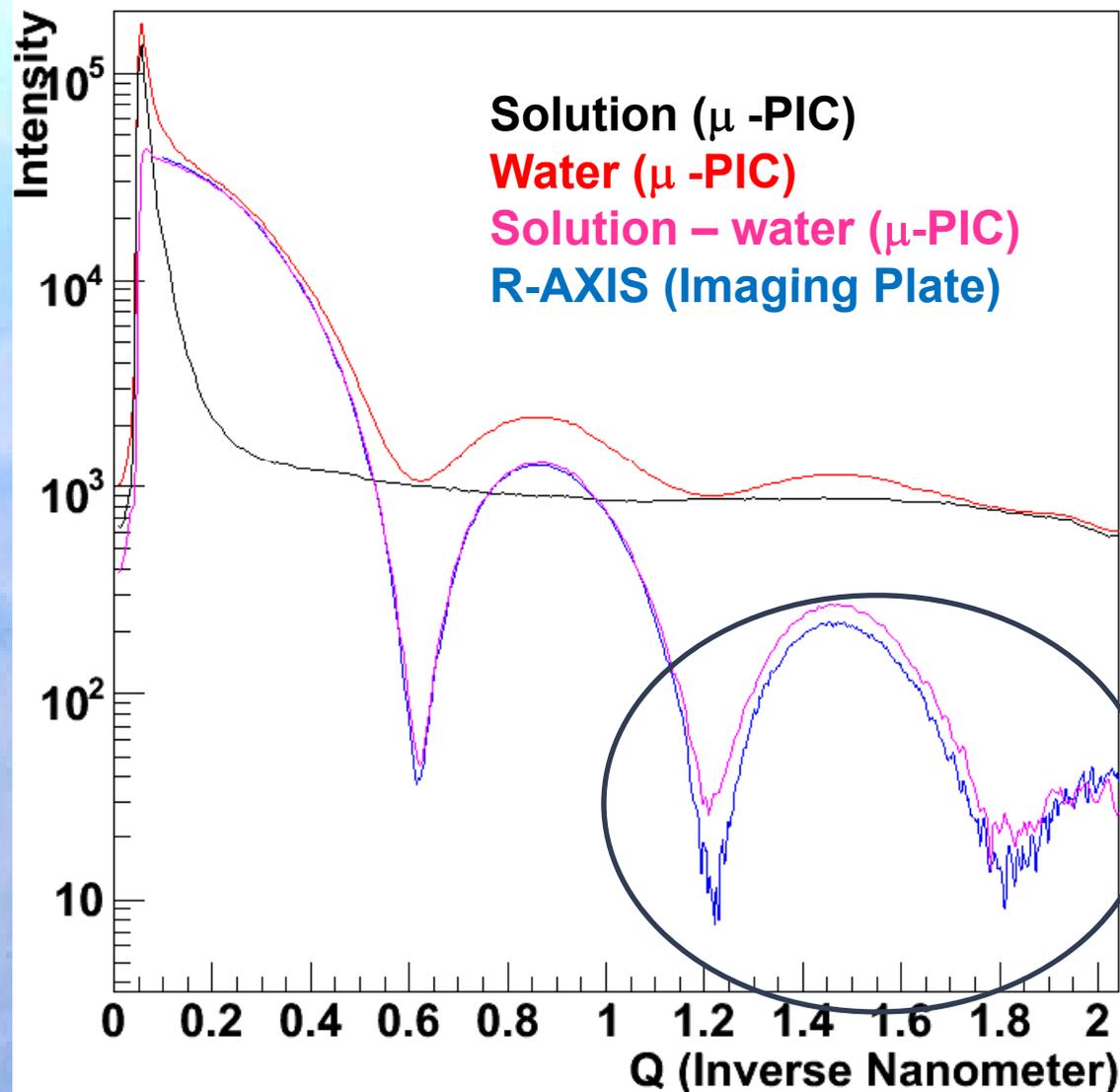
Incident photon flux
 1.5×10^{11} photons / s

**dynamic range >10⁶
を達成**

小角散乱では特に広いダイナミックレンジが求められる
溶液散乱: 溶液-溶媒を求める必要があるので、
検出器の振る舞いがcounting ratesに依存しないことが必要

検出器の端
efficiencyが低い

タンパク質の溶液散乱



2008/8/30

Apo-Ferritin

1.5 Å

exposure time : 436 sec

Incident photon flux

1.5×10^{11} photons / s

✓小角側はよく一致している

✓高角側のずれ

→SN比のため？

さらなるstudyが必要

Detector characteristics



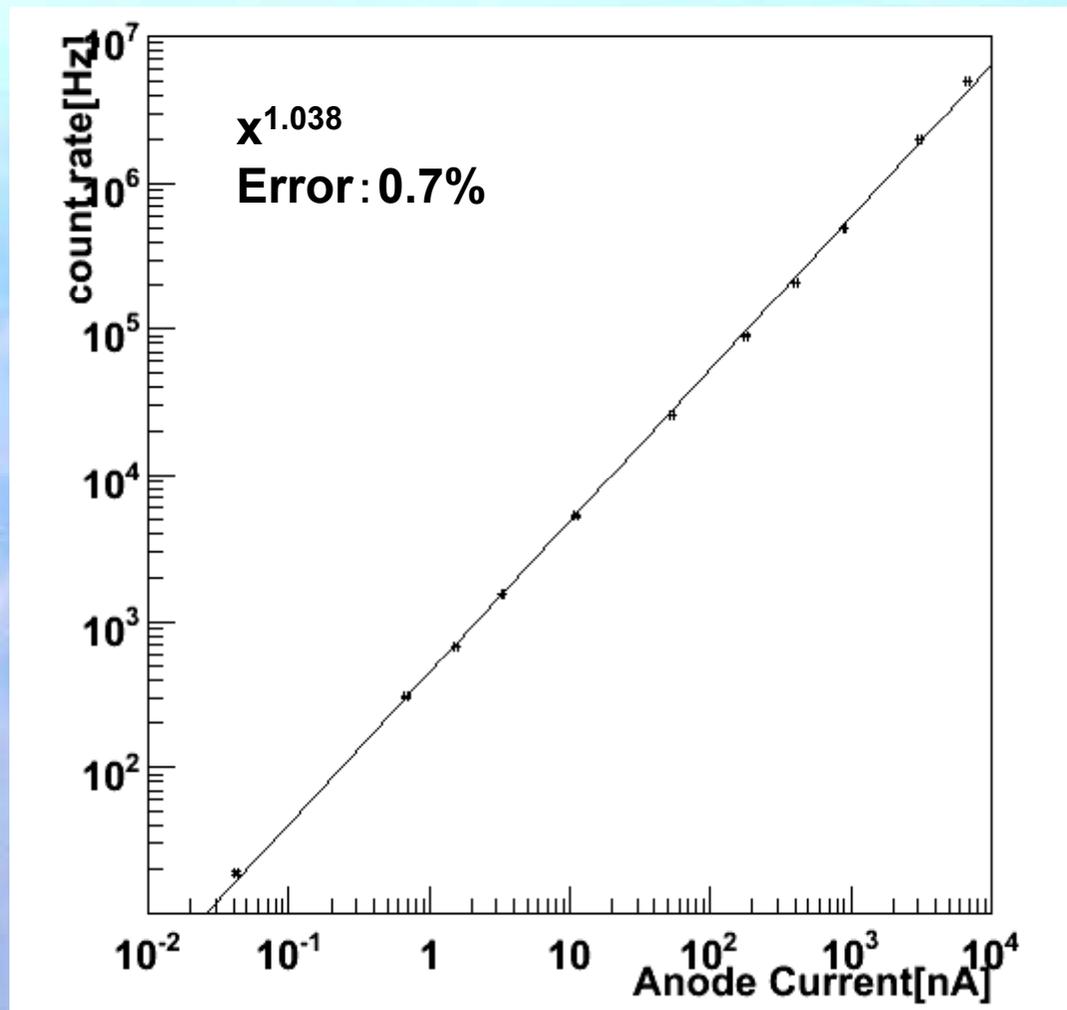
	current	goal
pitch	400 μm	200 μm
Position resolution	120 μm	< 100 μm
ピクセル数	256 × 256	1500 × 1500
検出部面積	100 × 100 mm ²	300 × 300 mm ²
Gas gain	$5 \times 10^3 - 10^4$	$> 10^4$
Dynamic Range	$> 10^6$	10^7
Intensity Range(Global)	< 5MHz	10MHz
Efficiency uniformity	~several %	< 1%
distortion	No	No

2008/8/3



Achieved by Gamma-ray camera based on a μ-PIC

Dynamic range for incident X-ray intensity



試料: グラッシーカーボン
X線: 13.8 keV

20Hzから5MHzまで(5桁以上)
線形性を確認
5MHzでの安定動作
Saturationは見られなかった
低いcount rate領域でも
精度よく測定

計数型検出器の時間分解能

μ-PICの場合、信号のタイミングは10nsで測定可能

- 小角散乱

- 信号は検出器全面に分布

- 現在のシステムでは10Mcpsまで処理できる

- 構造をみるには 10^5 events程度必要

- 時間分解能は $10^5/10^7=10$ msec程度

- 単結晶構造解析

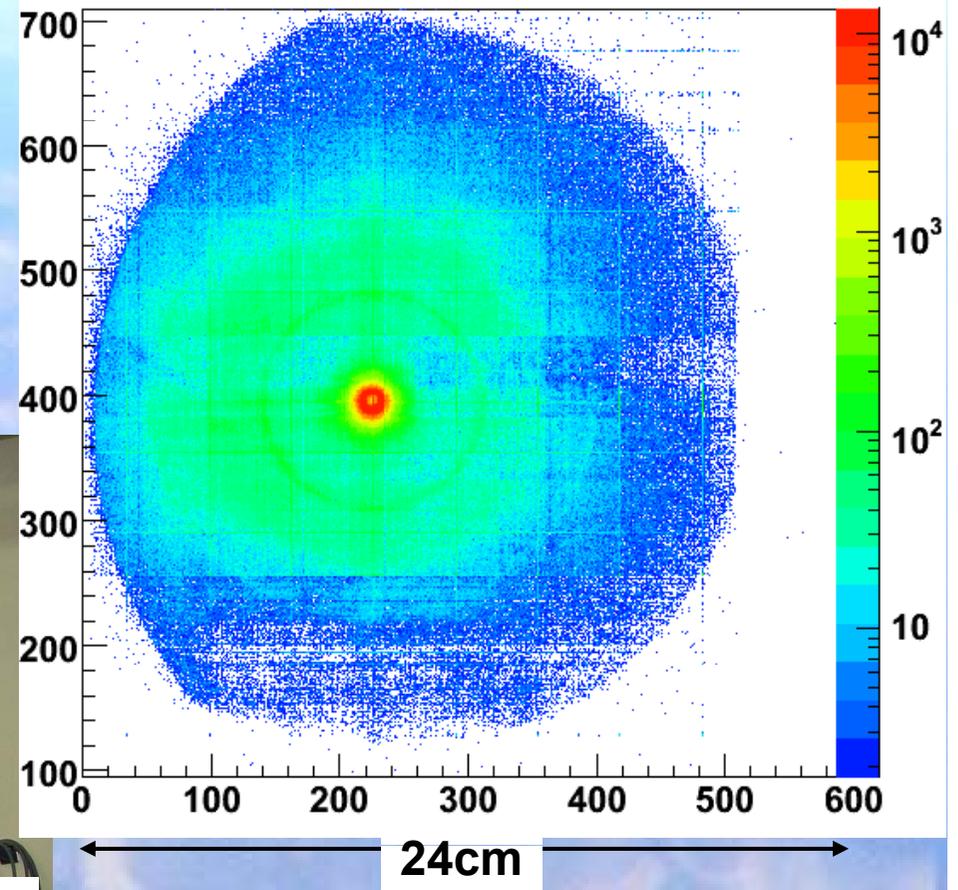
- 信号は局在

- 小角散乱より少ないイベント数(何イベント必要かは今後評価する予定)で構造を解ける

- 時間分解能 <10 msec

大型 μ -PIC(30cm \times 30cm)

30cm角 μ -PICとしては初のビーム試験システムとして動作することを確認
 μ -PIC単体で動作(GEMなし)



First image of 30cm μ -PIC
 試料: ベヘン酸銀
 X線: 13.8 keV

