

μ -PICを読み出しに用いた Time Projection Chamber (micro-TPC)の 高性能化

京大理、理研播磨研^A、ISAS/JAXA^B、東工大理工^C
服部香里

谷森達、窪秀利、身内賢太郎、土屋兼一、株木重人、
西村広展、上野一樹、黒澤俊介、井田知宏、岩城智、
高橋慶在、高田昌樹^A、伊藤和輝^A、
高田淳史^B、植草秀裕^C、藤井孝太郎^C

Contents

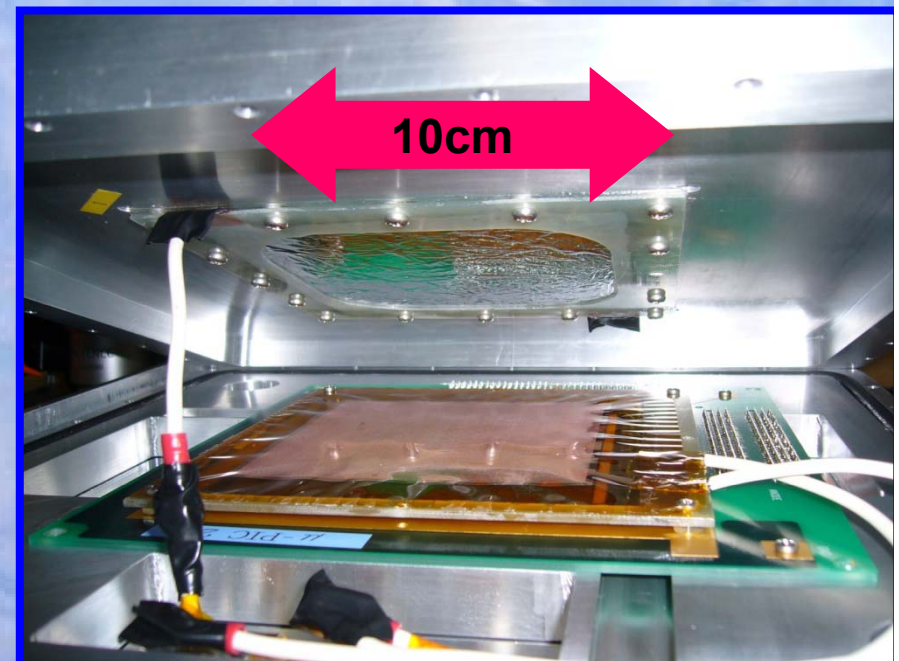
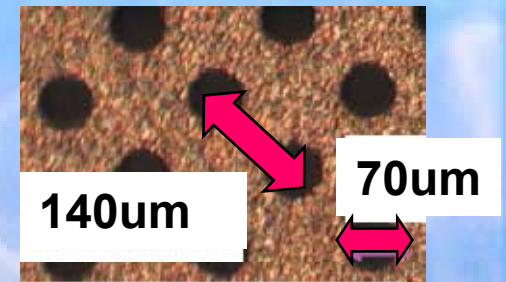
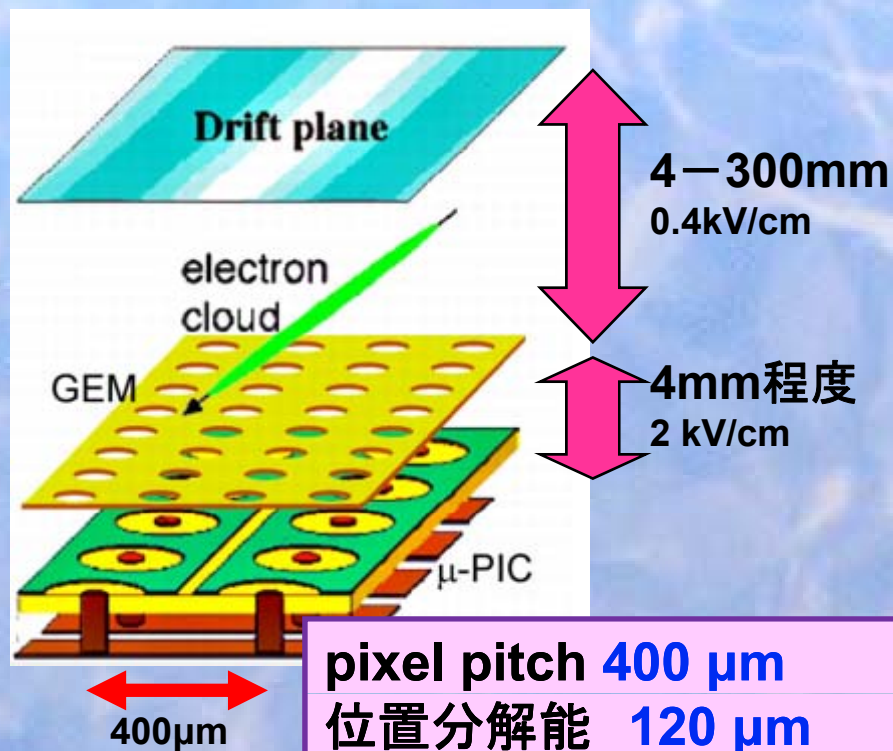
- μ -PICを読み出しに用いたTime Projection Chamber (micro-TPC)の紹介
- micro-TPCの高性能化の必要性
- μ -PIC読み出し回路(position encoder)の改良
- micro-TPCの応用: 中性子検出器
- 中性子散乱実験@JRR-3 NOPビームライン
- まとめ

micro-Pixel Chamber(μ -PIC)を

読み出しに用いたTime Projection Chamber (micro-TPC)

- ✓ μ -PIC 二次元位置検出器
- ✓検出面積: $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ (512ch), $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ (1536ch)
- ✓GEM(gas electron multiplier) gain $\sim 3-10$
 μ -PIC gain $\sim 3,000-5,000$
- ✓一ヶ月間以上ガス封じ切りで安定動作可能
- ✓Time Projection Chamber \rightarrow 三次元的な飛跡

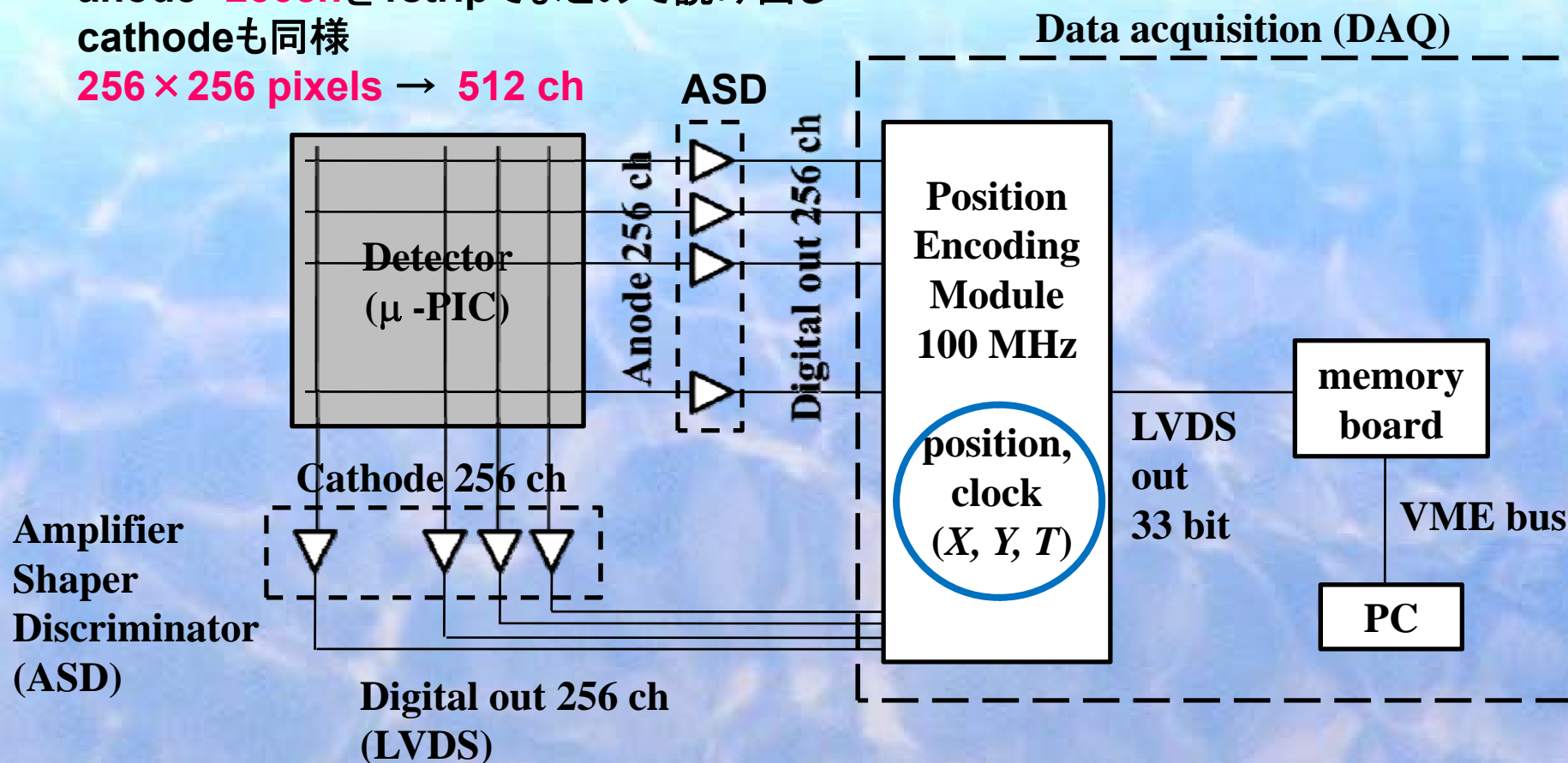
gas electron multiplier (GEM), F. Sauli (1997)



pixel pitch 400 μm
位置分解能 120 μm
(Xe 1mm厚、X線イメージング)

DAQ

10cm × 10cm μ-PICの場合
 anode **256ch**を1stripでまとめて読み出し
 cathodeも同様
256 × 256 pixels → **512 ch**



100 MHzでcoincidenceを取ってよい???

High rateに対応するためにはencoderは100MHzで動作するべきだが...

micro-TPCの高性能化の必要性

- micro-TPC

- strip読み出し

- 読み出しチャンネル数少

- (ピクセル読み出しと比べると劇的にチャンネル数を減らせる)

- 回路がシンプル

- 大面積化が容易

- 幅広い応用

- コンプトンカメラ(次の講演)、

- 二次元X線・中性子検出器(本講演)、ダークマター、

- ガスPMT等

- micro-TPC読み出し回路の高性能化の必要性

- strip読み出しはX座標とY座標のcoincidenceで(X,Y)を知る

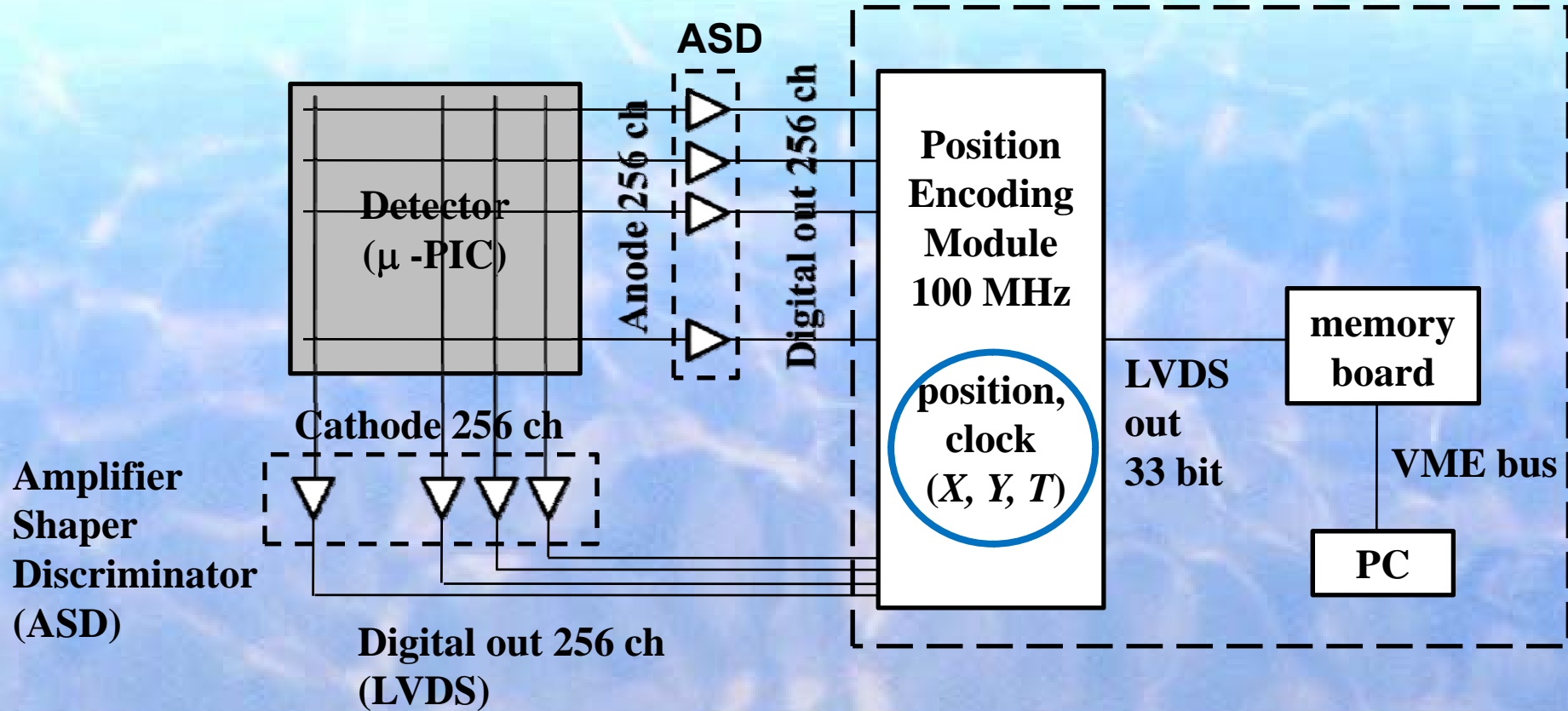
- coincidenceの取り方が難しい

- high rateのとき(X線、中性子検出器)、信号が小さいとき(コンプトンカメラ)特に →coincidenceの取り方をstudyした

DAQ



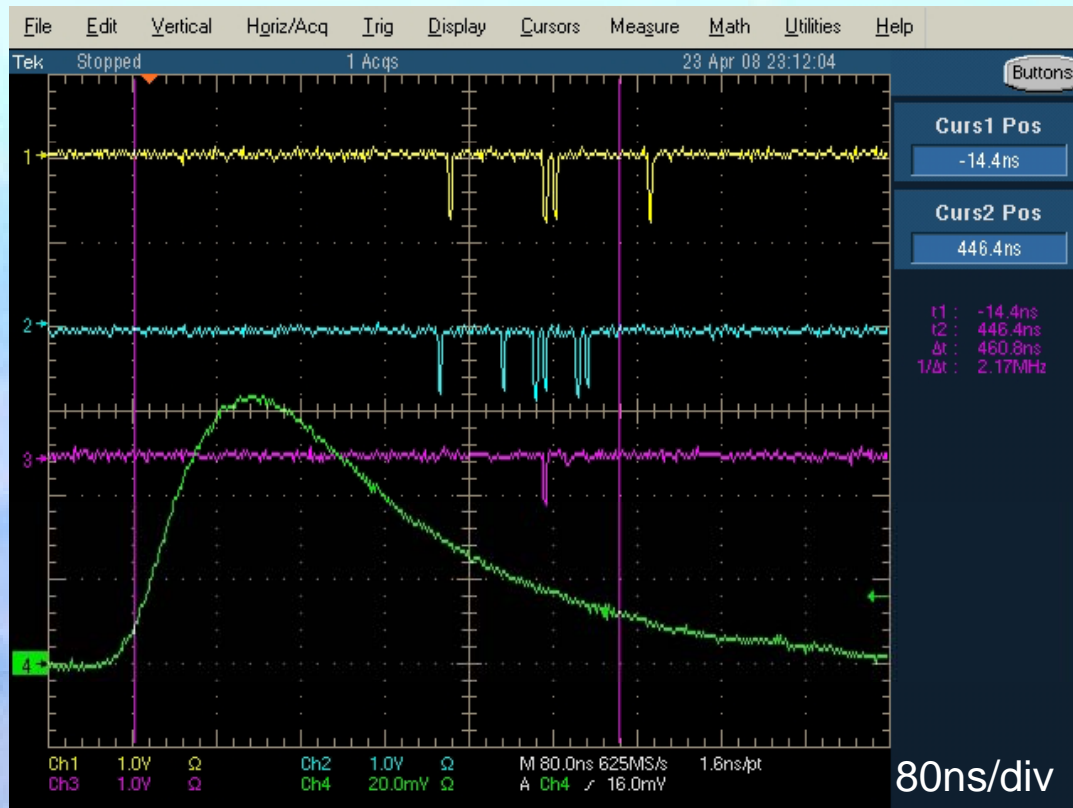
Data acquisition (DAQ)



anode, cathodeの信号(デジタル)の立ち上がり
1clock(10ns)以内に来た時のみcoincidenceをとる \rightarrow (X, Y, T)

100 MHzでcoincidenceを取ると、50%程度データをとりこぼす

anodeとcathodeのcoincidence



cathode 256chのどこかでhitしたとき出力

anode 256chのどこかでhitしたとき出力

cathodeとanodeで
coincidenceがとれたとき出力

cathode analog out

✓ coincidenceが取れていないイベントが多い

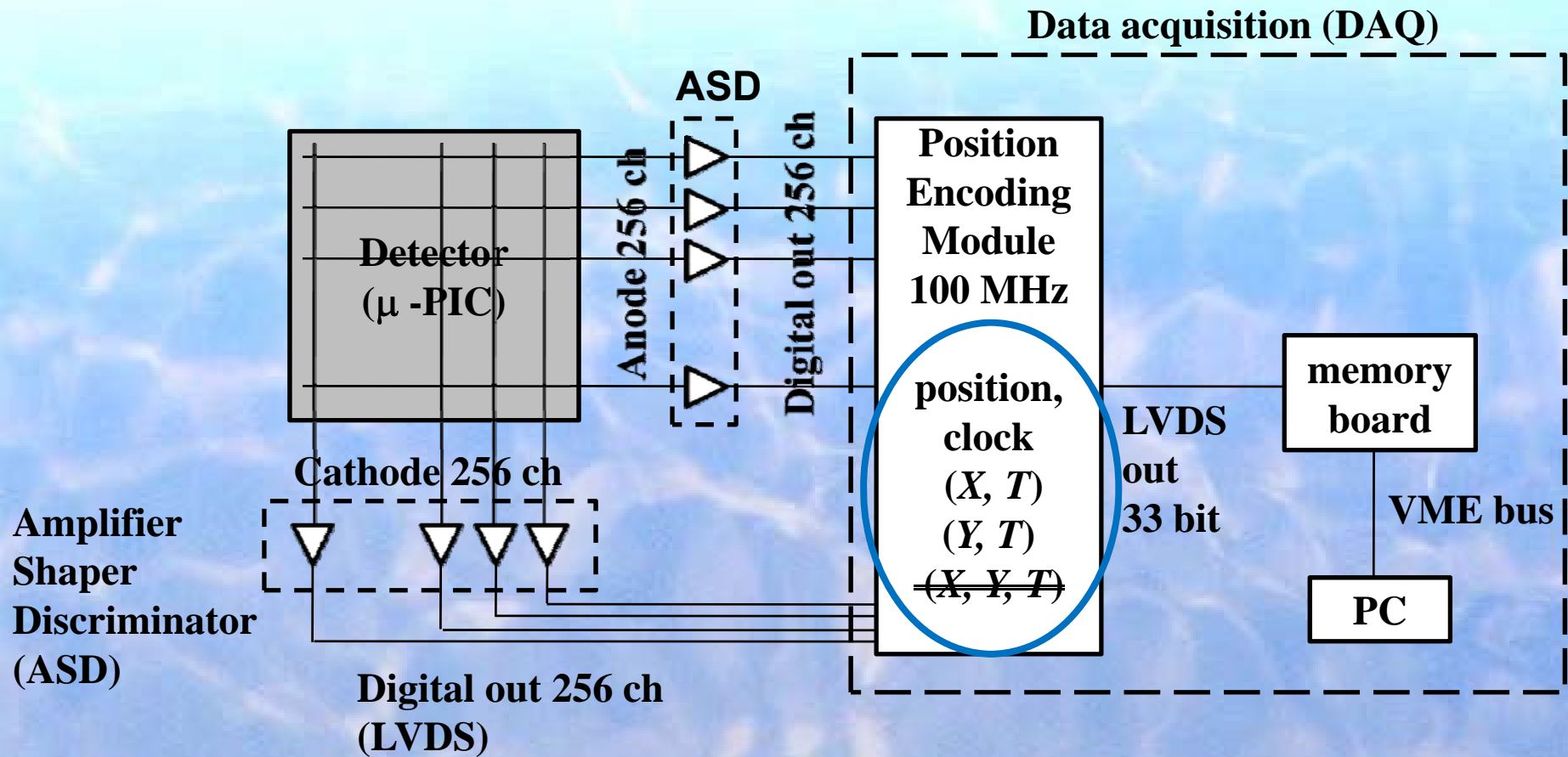
✓ 特にpulse heightの小さいとき

← 読み出し回路のtime walk + μ -PICの信号の時定数

✓ gas gain向上 → SN比向上

→ coincidenceを取らなくてもOK

DAQ(改良後)

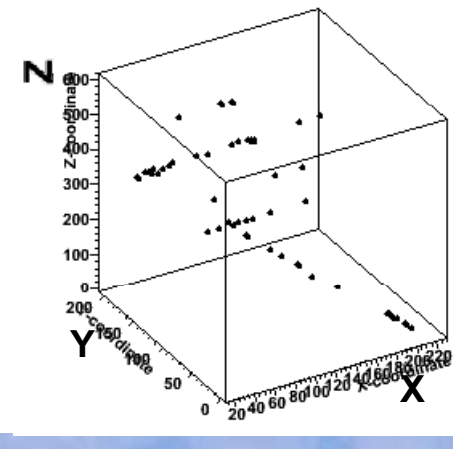
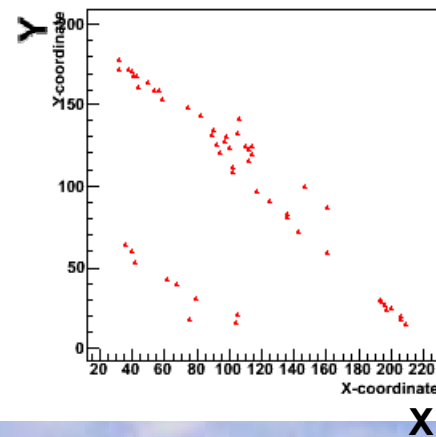
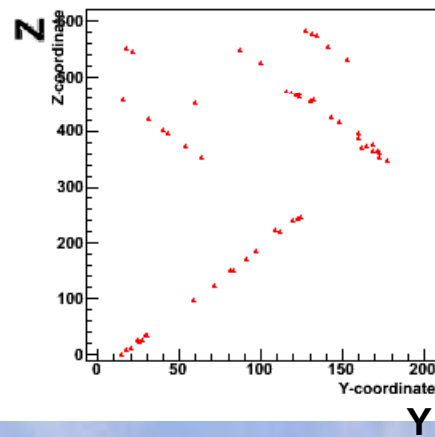
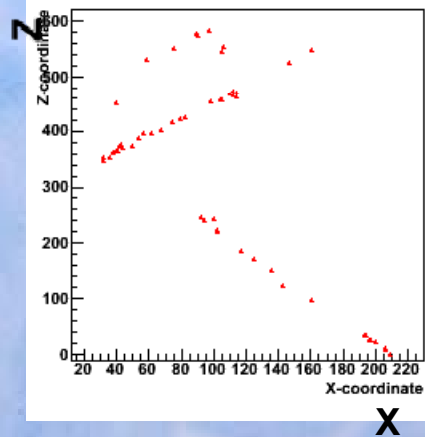
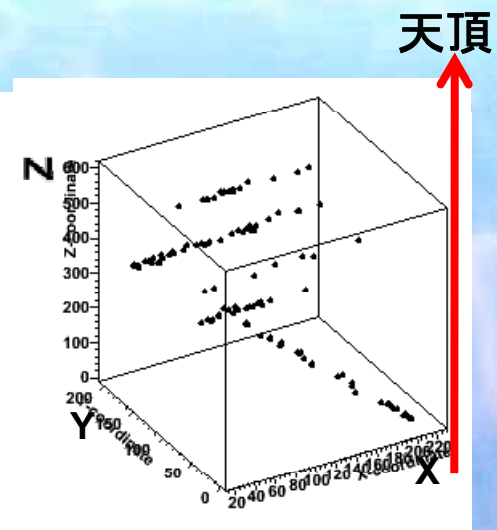
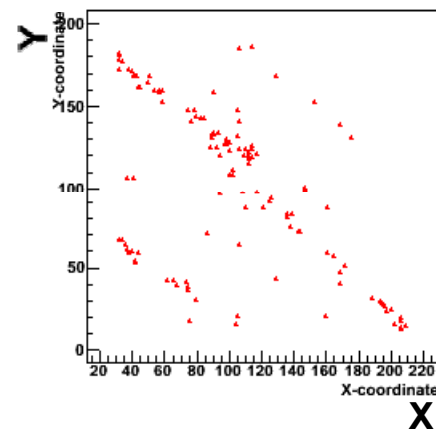
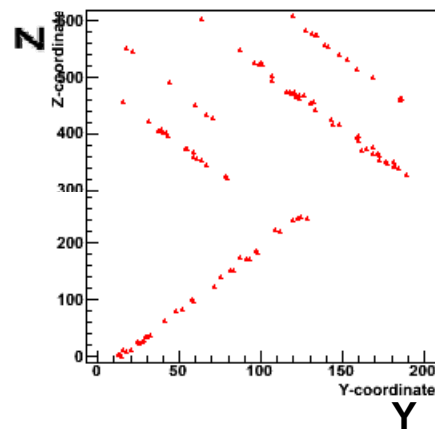
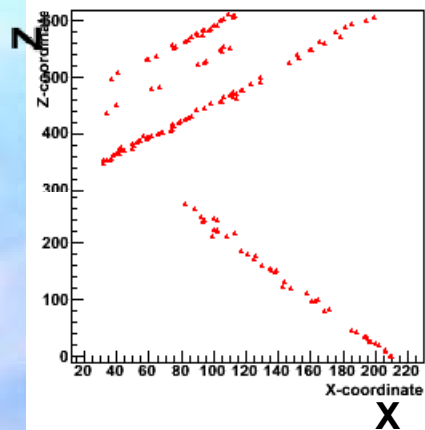


anode, cathodeの信号(デジタル)の立ち上がり
1clock(10ns)以内に来た時のみcoincidenceをとる $\rightarrow (X, Y, T)$

(X, T) , (Y, T) を記録し、到来時刻から二次元座標を再構成

muon tracks (1)

新ロジック: (X, T)(Y, T)を記録、再構成
到来時間が10–20 nsずれたイベントも
coincidenceが取れたとしてプロット

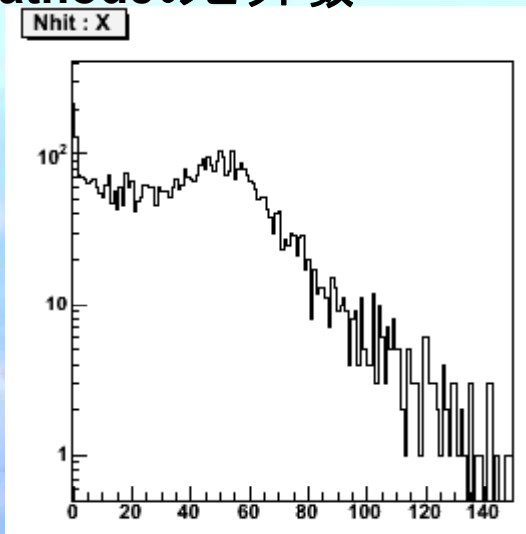


旧ロジック: X, Yのcoincidenceが100MHzで取れたときのみイベントを記録

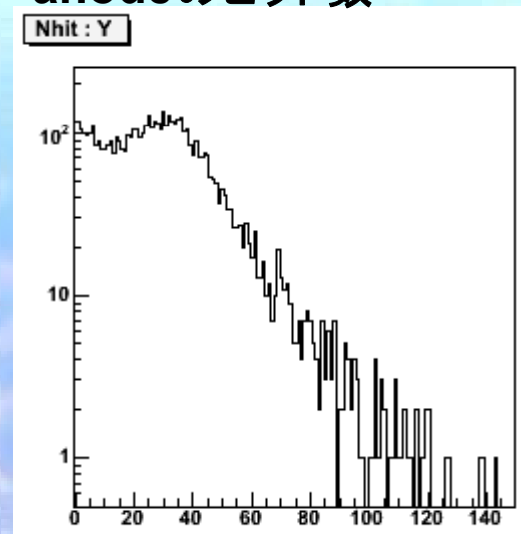
muon tracks (2)



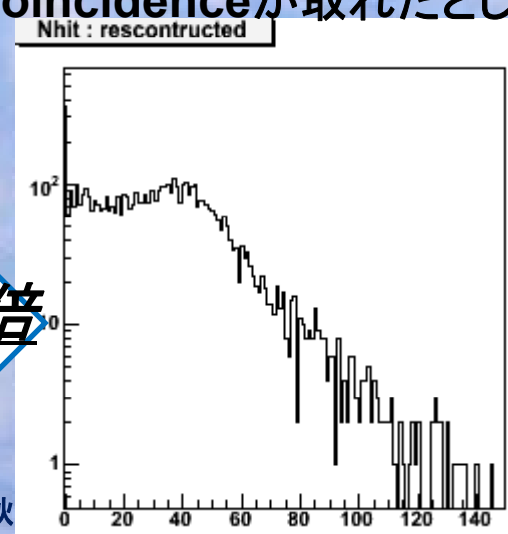
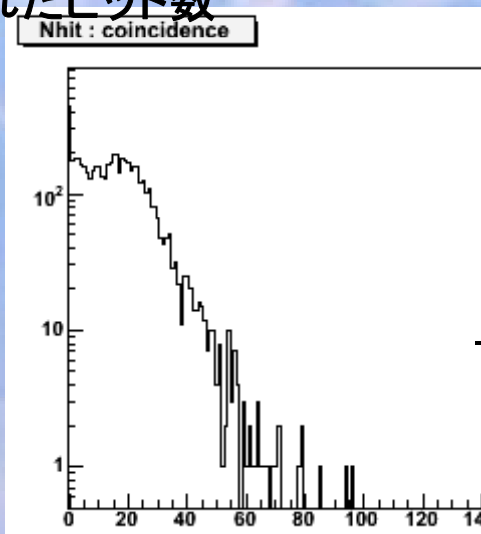
muon track一つあたり
cathodeのヒット数



anodeのヒット数



anodeとcathodeのcoincidenceの
とれたヒット数 到来時間が10-20 nsずれたイベントも
coincidenceが取れたとしてプロット



ヒット数2倍

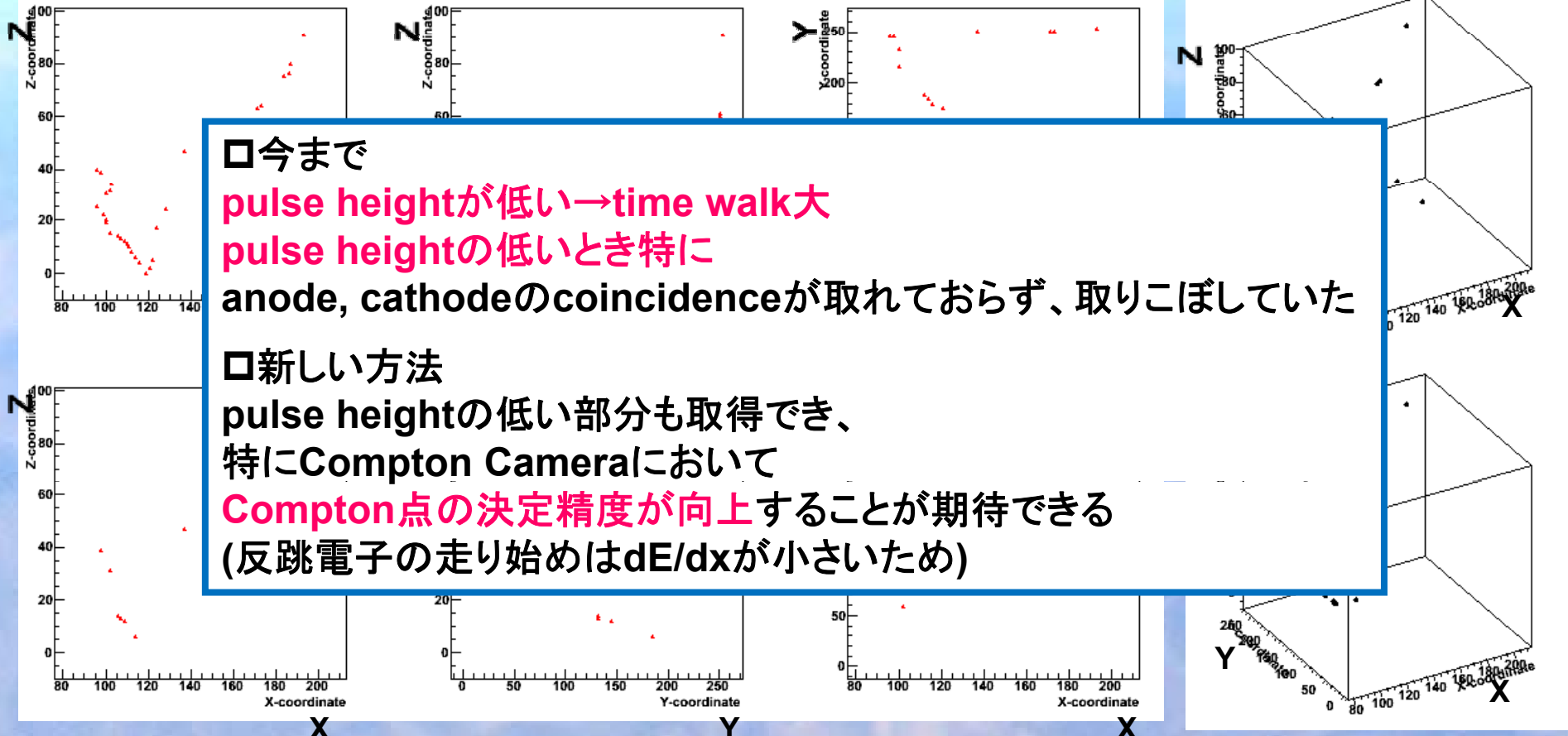
electron tracks



^{137}Cs 照射

新ロジック:(X, T)(Y, T)を記録、再構成

到来時間が10–20 nsずれたイベントも coincidenceが取れたとしてプロット



□今まで
pulse heightが低い→time walk大
pulse heightの低いとき特に
anode, cathodeのcoincidenceが取れておらず、取りこぼしていた

□新しい方法
pulse heightの低い部分も取得でき、
特にCompton Cameraにおいて
Compton点の決定精度が向上することが期待できる
(反跳電子の走り始めはdE/dxが小さいため)

旧ロジック:X, Yのcoincidenceが100MHzで取れたときのみイベントを記録

muon track同様hit数が2倍に増えた

さらなる読み出し回路改良に向けて

(現状)

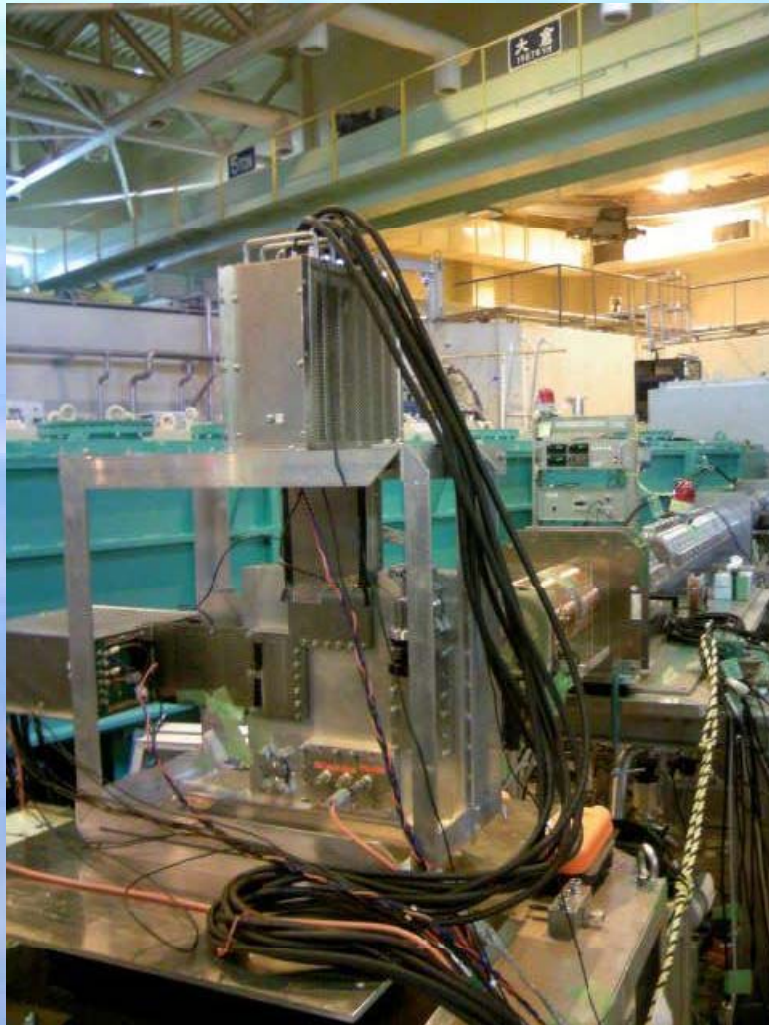
- 信号の立ち上がりがthresholdを超えたときのみ検出

(改良)

- 立下りも記録し、pulseの幅から波高が推測できるようにする
 - pulse幅からnoiseとsignalを分離できないかstudy
 - ガス中での電子雲の広がりをシミュレーションし、実験データと比較することで、電子雲の中心位置を求められるようにする
 - anodeとcathodeで信号の来るタイミングがずれるので、どのように同期をとればよいかをさらにstudy
- 二つの荷電粒子がほぼ同時に入射したときもきちんと検出することを目指す

(high rate環境下、Spring-8等、global counting rate > 10 MHz)

micro-TPCの応用 中性子検出器



J-PARC 物質生命科学研究施設
パルス中性子用検出器を目指して開発

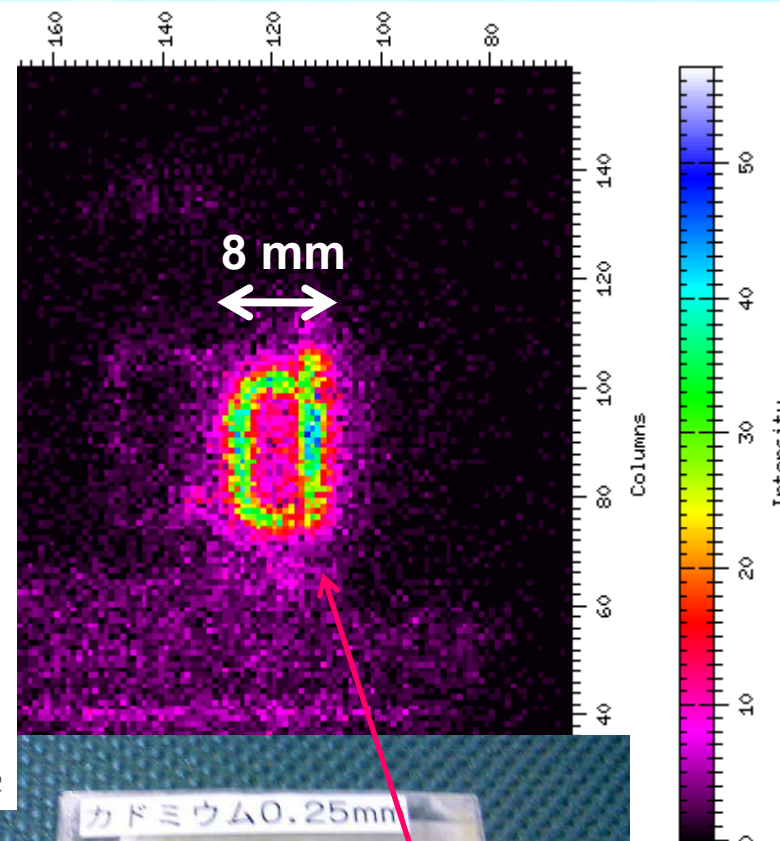
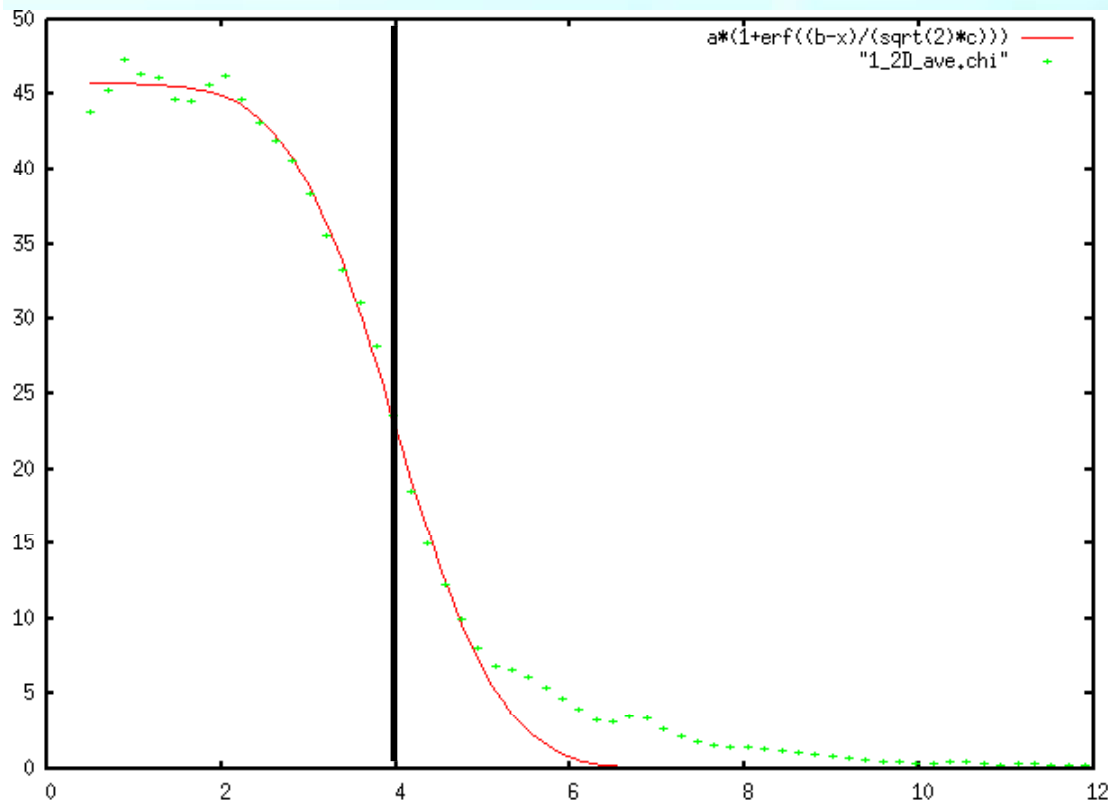
2008年9月
JRR-3 NOPIビームライン
中心波長**7.6 Å**の冷中性子を照射

Ar 80%, C₂H₆ 9%, ³He 11%
検出部 **10cm × 10cm × 0.4cm**
第一回目の試験なので検出効率向上は
考慮していない

新しい読み出しロジックで
proton (765 keV)+triton (191 keV)
の飛跡を検出

ガス層が薄いため、全飛跡を検出できない
→ヒットした座標を平均

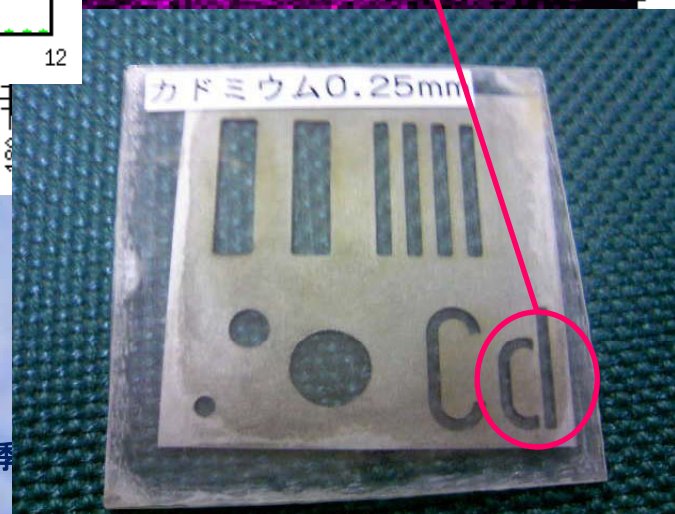
位置分解能



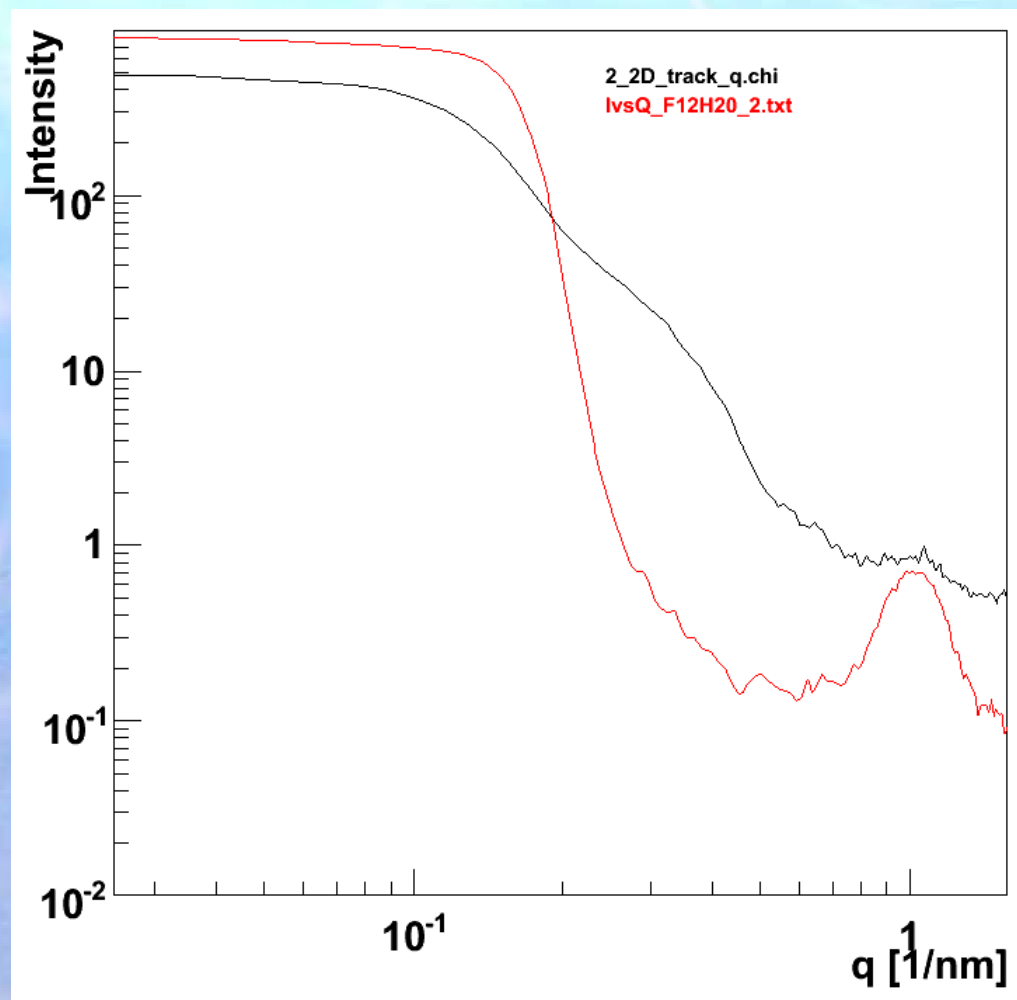
4 mm

ダイレクトビームを $\Phi 8$ のCdスリットに照射
スリット穴を中心として、プロファイルを作成
 $r = 4 \text{ mm}$ で強度半分
Error functionでfit

位置分解能 1.0 mm



Bragg peak



試料: F12H20

Bragg peak: $q=1.02 / \text{nm}$

黒: μ -PIC

赤: 中性子シンチレータ

ZnS/6LiF

ほぼ同じ位置にピークが
検出された

μ -PIC

検出効率が低い

← 飛跡の平均位置だと統計が
足りなかったの

飛跡の重ね合わせ

位置分解能 $> 1 \text{ nm}$

SN比が悪い

圧力を高くする
ガス層を厚くする

まとめ

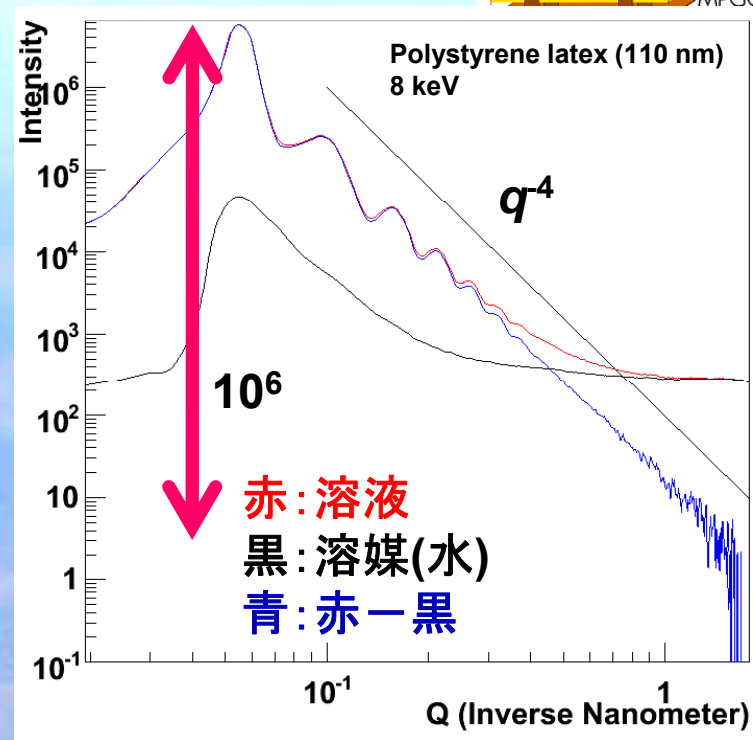


- 読み出し回路の改良
 - SN比が改善したため、anodeとcathodeの coincidenceを取らなくてよくなった
 - Anode, cathodeを独立に読み出し、時間情報をもとにオフラインで再構成
 - 100 MHzでcoincidenceが取れていなかったデータも取得することができ、hit数2倍に
 - time walkの大きいpulse heightの低いときもデータを取得することができる→Compton pointの決定精度向上
- 中性子検出器としての応用
 - 位置分解能 1.0 mm
 - Bragg peak が検出できた

今後



- 読み出し回路の改良
 - pulse widthも取得し、より高精度な飛跡取得を目指す
- 中性子検出器としての応用
 - 検出効率向上(圧力、ガス厚)
 - ガンマ線backgroundのstudy
 - high rateでのstudy



X線検出器の開発@Spring-8小角散乱ビームライン(BL45-XU)

2-3 MHzまで線形性を確認済み

dynamic range $>10^6$ を達成している (目標 $>10^7$)

- 読み出し回路は共通なのでSpring-8での成果を即適用可能

ASD analog out

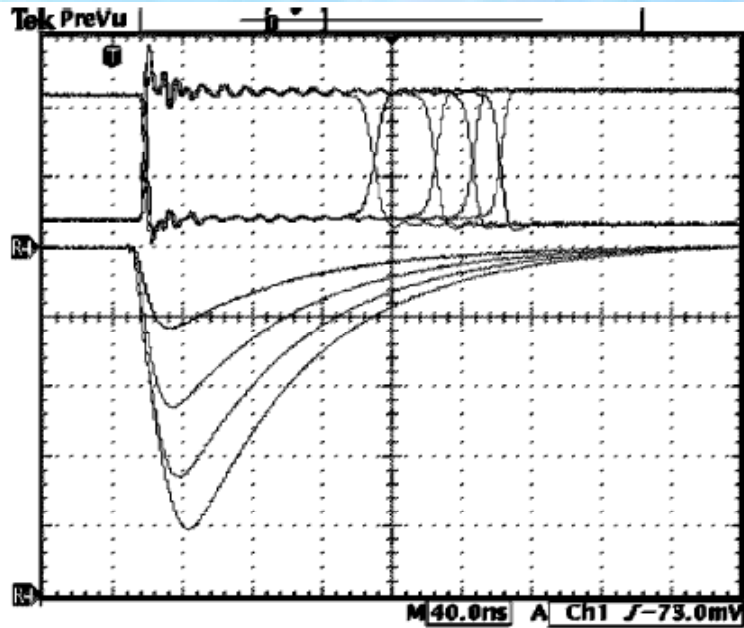


Fig. 8. Analog and digital signals from the ASD for impulse inputs from 0.1 to 0.4 pC. The voltage and time axes are 50 mV/div and 40 ns/div, respectively.

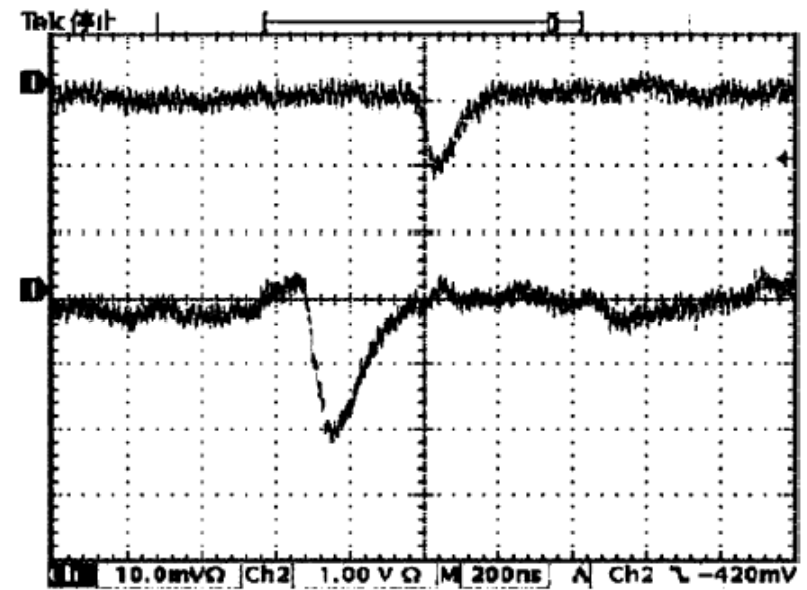
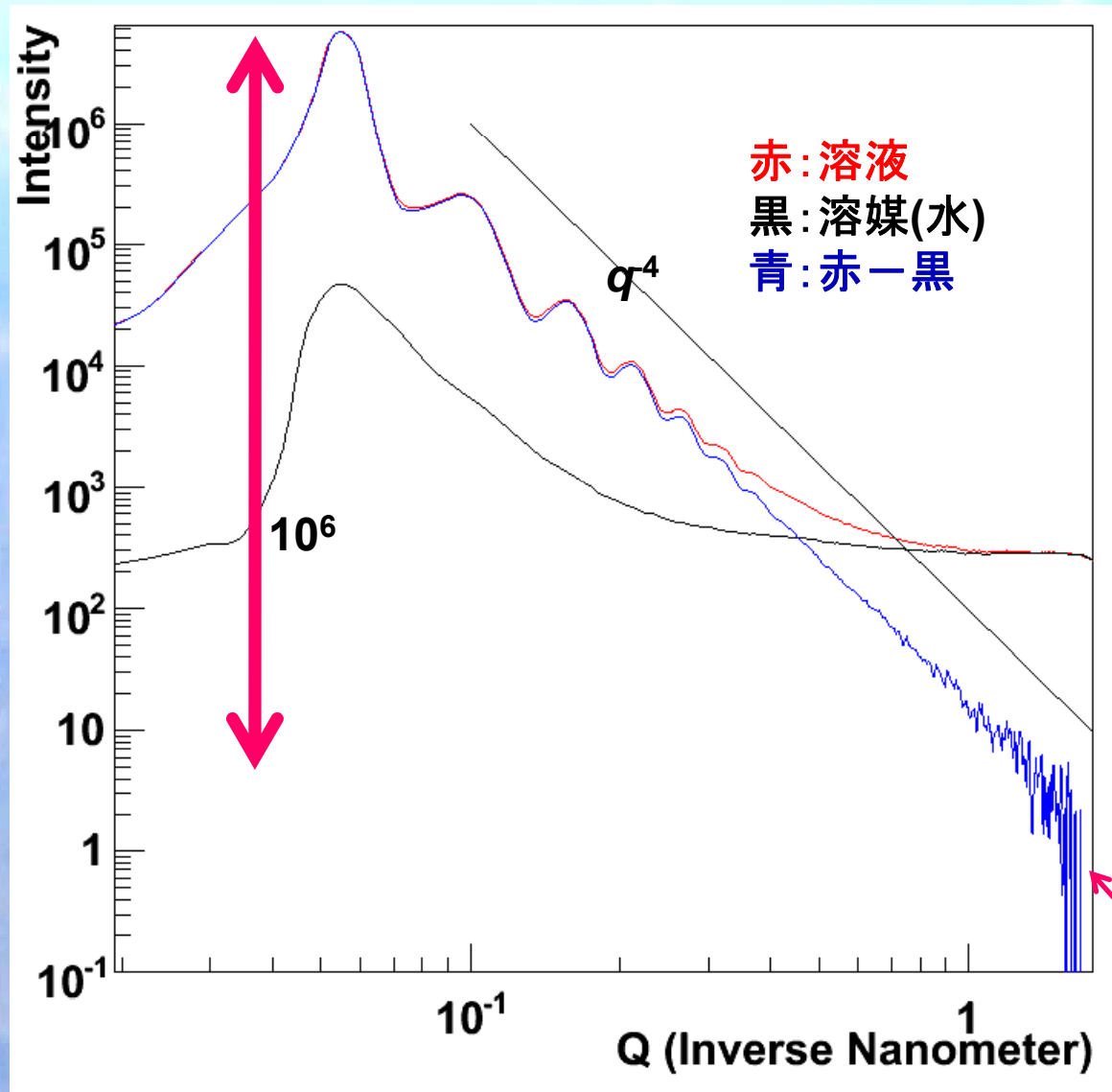


Fig. 11. Signals from the μ -PIC. TGC-ASD (upper) and μ PIC-ASD (lower), respectively.

溶液散乱 : Dynamic Range



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

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

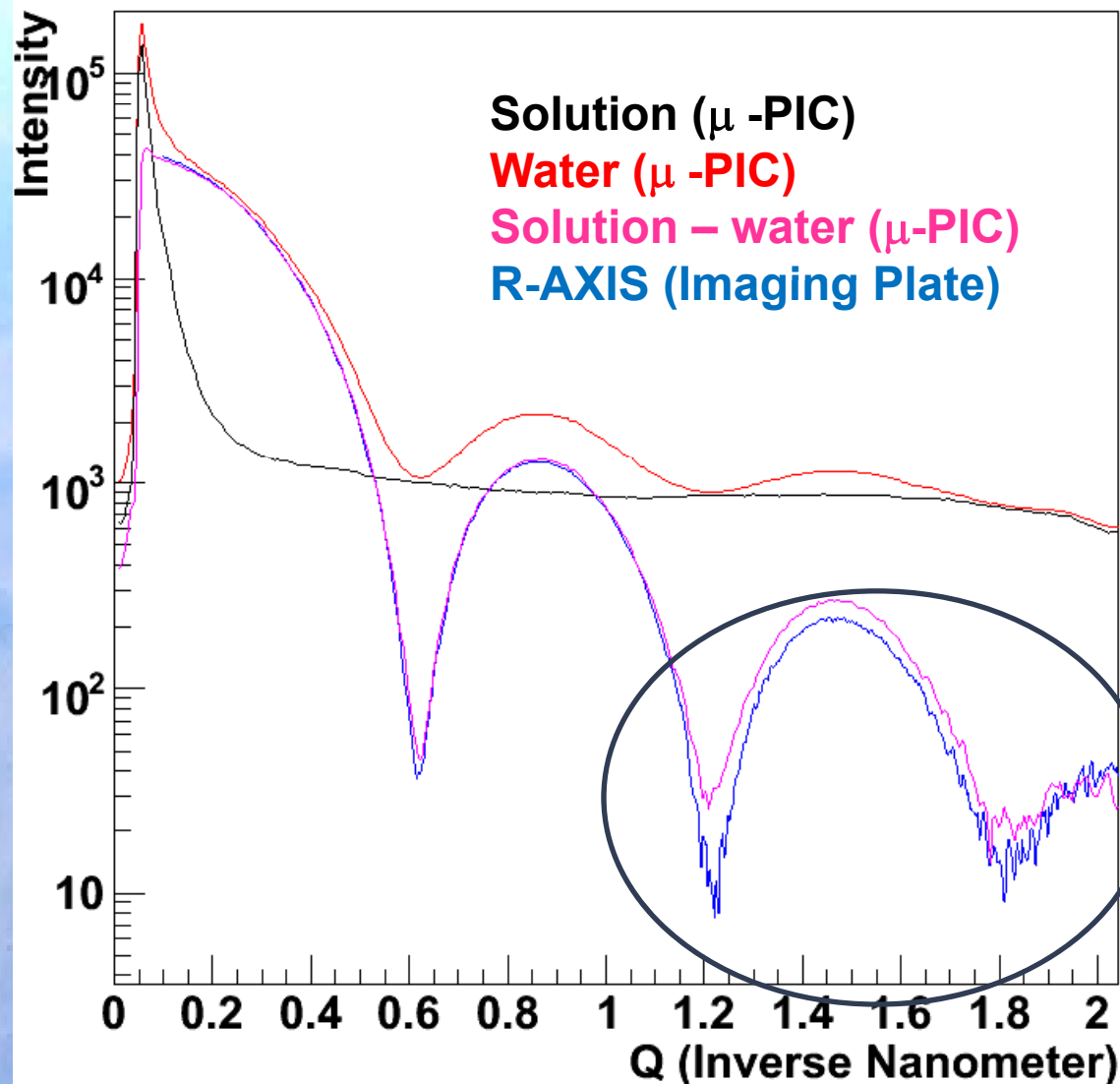
**dynamic range $>10^6$
を達成**

CCD: 10^4

Imaging Plate: 10^{5-6}

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