

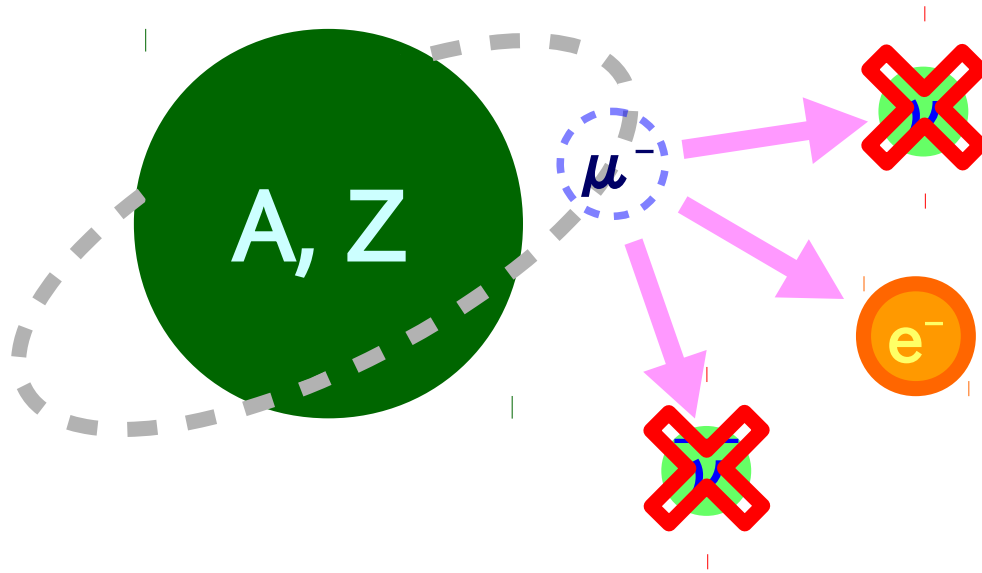
# J-PARC COMET実験のための 8GeV陽子加速試験における ビームプロファイル測定

2018年8月10日  
第15回日本加速器学会年会

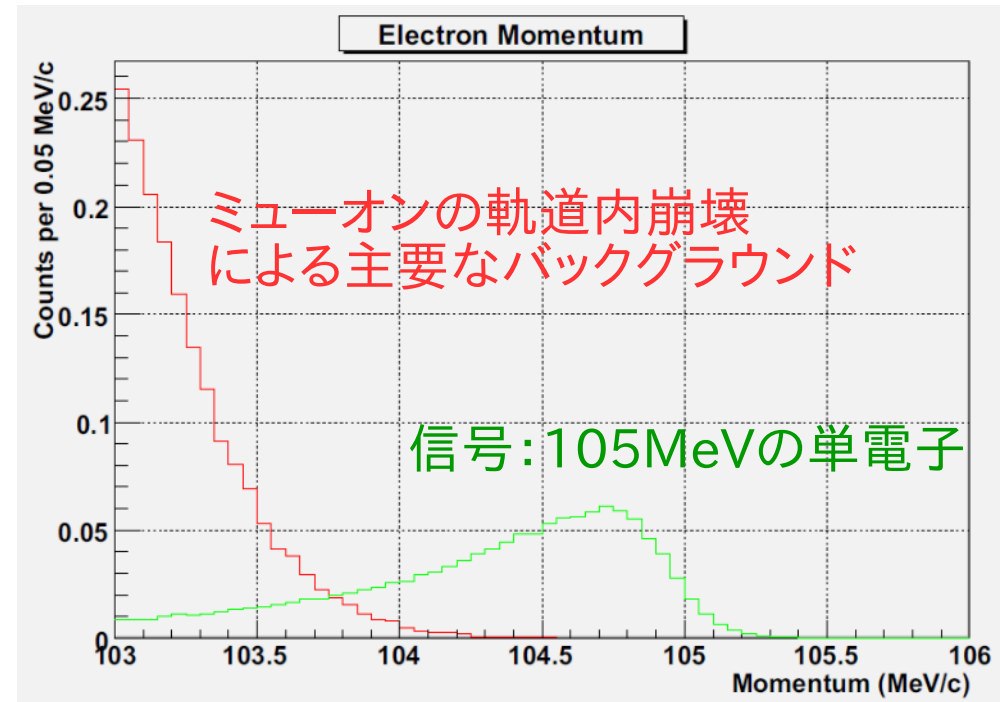
KEK素核研  
深尾 祥紀

上利恵三,	秋山裕信,	青木和也,	広瀬恵理奈,
家入正治,	五十嵐洋一,	加藤洋二,	倉崎るり,
三原智,	皆川道文,	森野雄平,	森津学,
武藤亮太郎,	西口創,	里嘉典,	澤田真也,
高橋仁,	田中万博,	富澤正人,	豊田晃久,
上野一樹,	鵜養美冬,	渡邊丈晃,	山本剛史,
山野井豊 (KEK)			
藤井祐樹 (Monash University)			

# COMET実験



- $\mu^- + (A, Z) \rightarrow e^- + (A, Z)$   
荷電レプトンフレーバ保存の破れ
- 標準模型では禁止されている  
 $\nu$ 混合による分岐比  $\sim O(10^{-54})$

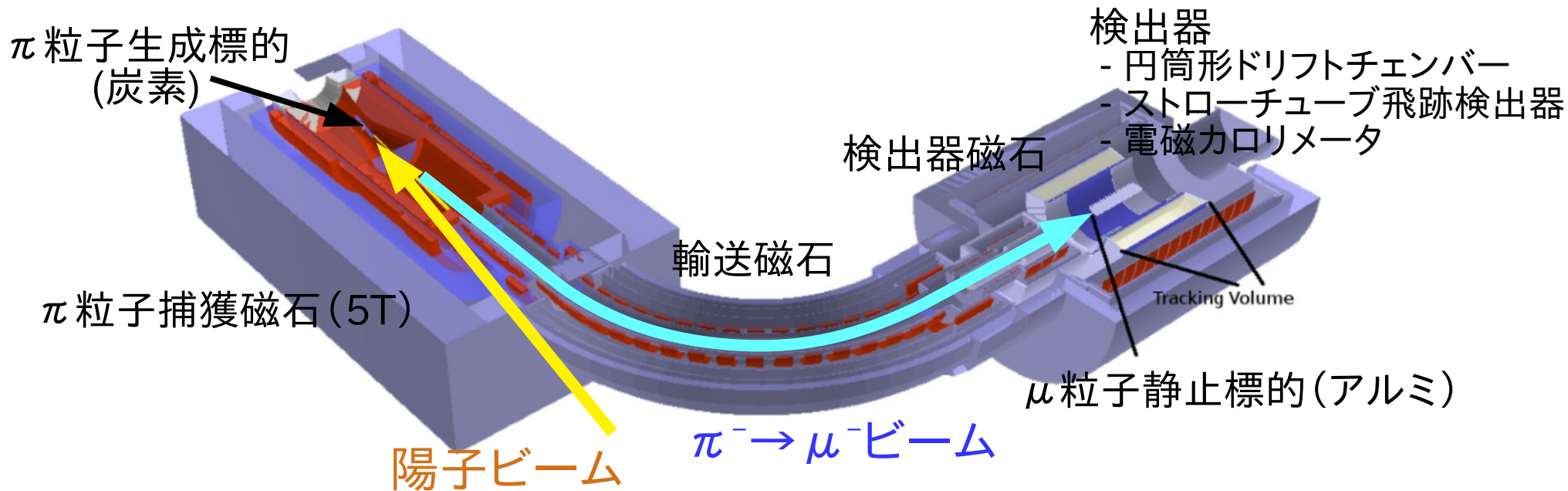


SINDRUM IIの測定結果  
 $BR < 6.1 \times 10^{-13}$

SINDRUM IIより感度を  
10000倍向上する  
(COMET Phase2)

いわゆる稀現象探索 → バックグラウンドが問題

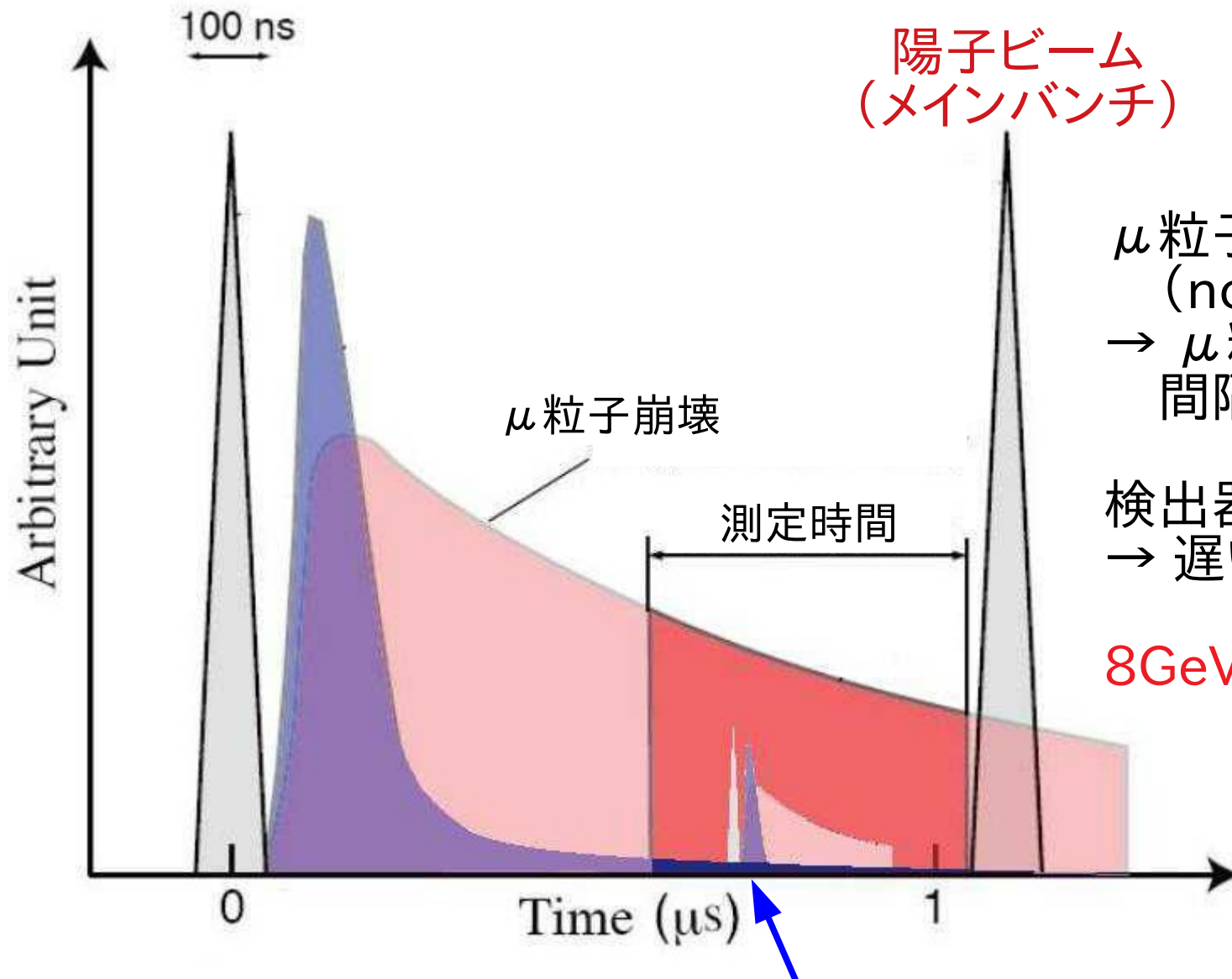
# COMET実験装置 Phase-1



1.  $\pi$  粒子生成標的で  $\pi^-$  生成
2.  $\mu$  粒子静止標的まで  $\pi$  粒子 /  $\mu$  粒子を輸送
3.  $\mu^- + (A, Z) \rightarrow e^- + (A, Z)$
4.  $\mu$ -e 転換の信号である 105MeV の電子を探す

- 感度：分岐比  $\sim 10^{-15}$
- 陽子ビーム：3.2kW ( $2.5 \times 10^{12}$  個/秒)
- 検出器
  1. 円筒形ドリフトチェンバー (物理測定)
  2. ストローチューブ飛跡検出器 + 電磁カロリメータ (ビーム測定)

# Bunched Slow Extraction



陽子ビーム  
(メインバンチ)

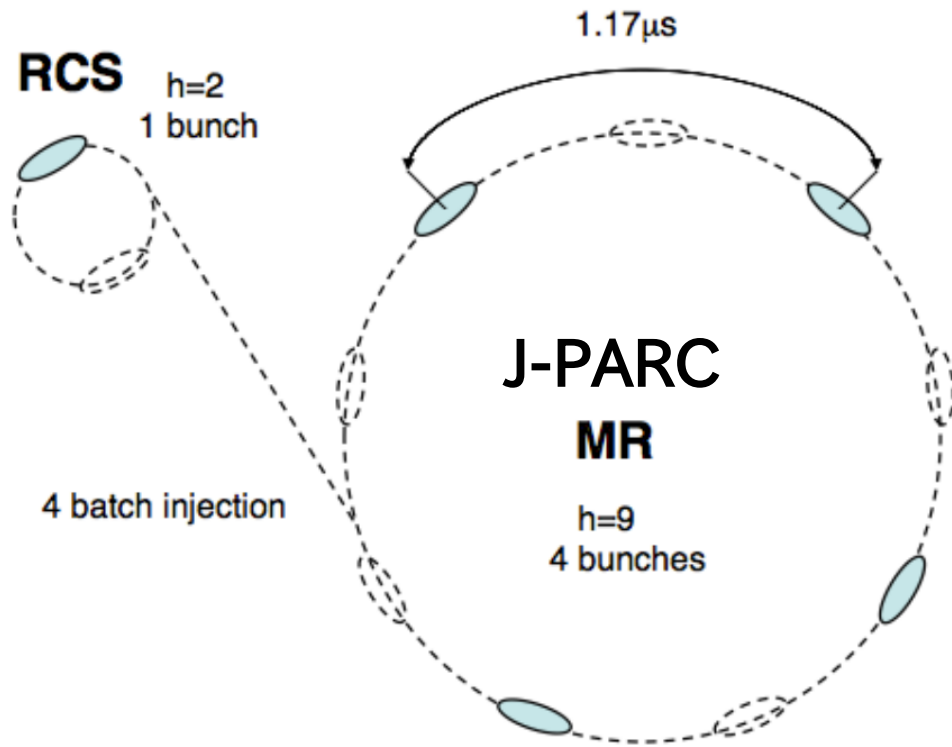
$\mu$  粒子崩壊  $\rightarrow$  単電子測定  
(non-coincidence)  
 $\rightarrow$   $\mu$  粒子の寿命程度の  
間隔のバンチ状ビーム

検出器のパイルアップ  
 $\rightarrow$  遅い取り出し

8GeVでは初めての試み

バンチ間の残留陽子がバックグラウンド源となる  
残留陽子の割合 = Extinction  $< 10^{-10}$

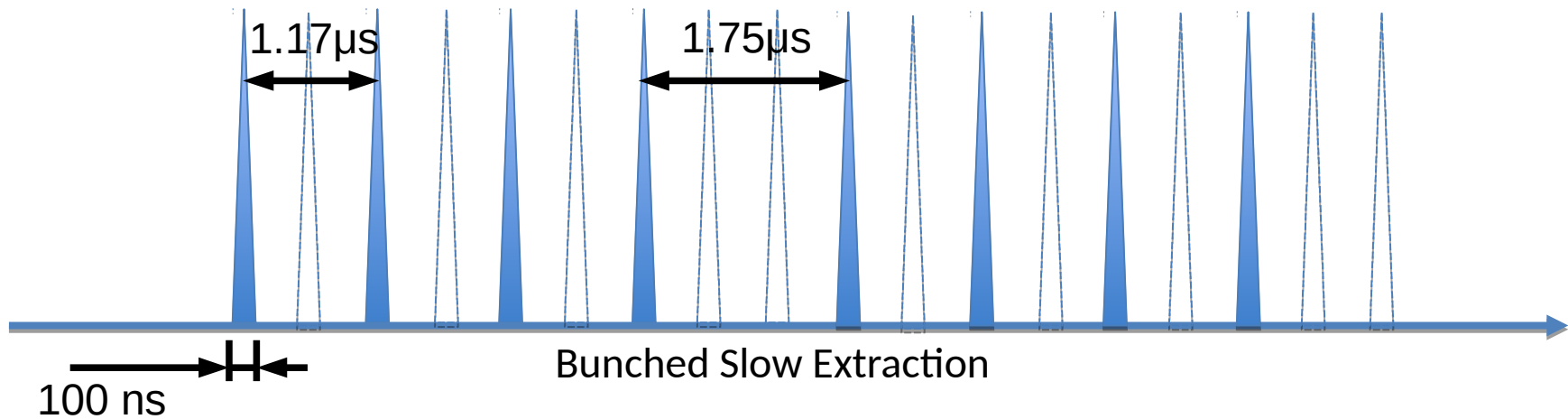
# ビームの時間構造



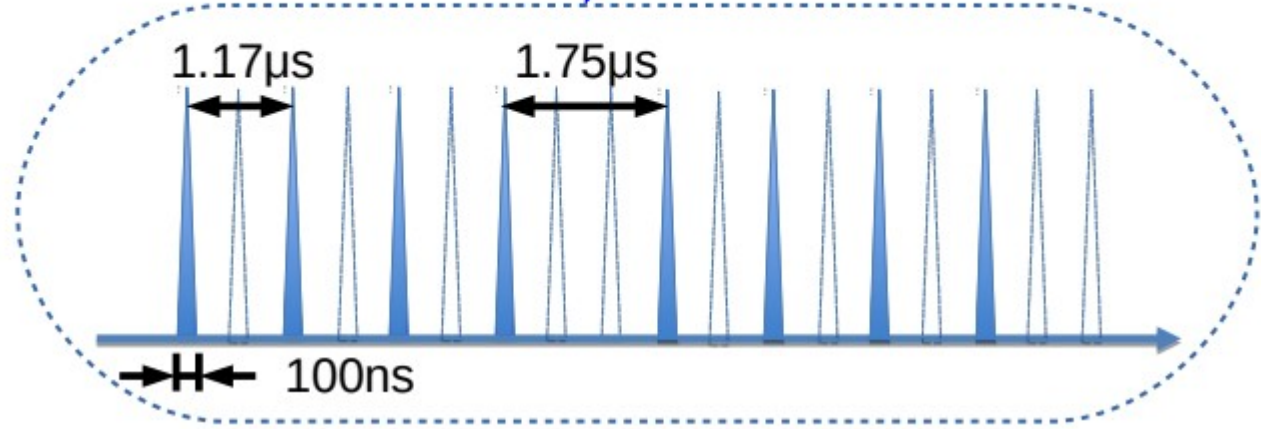
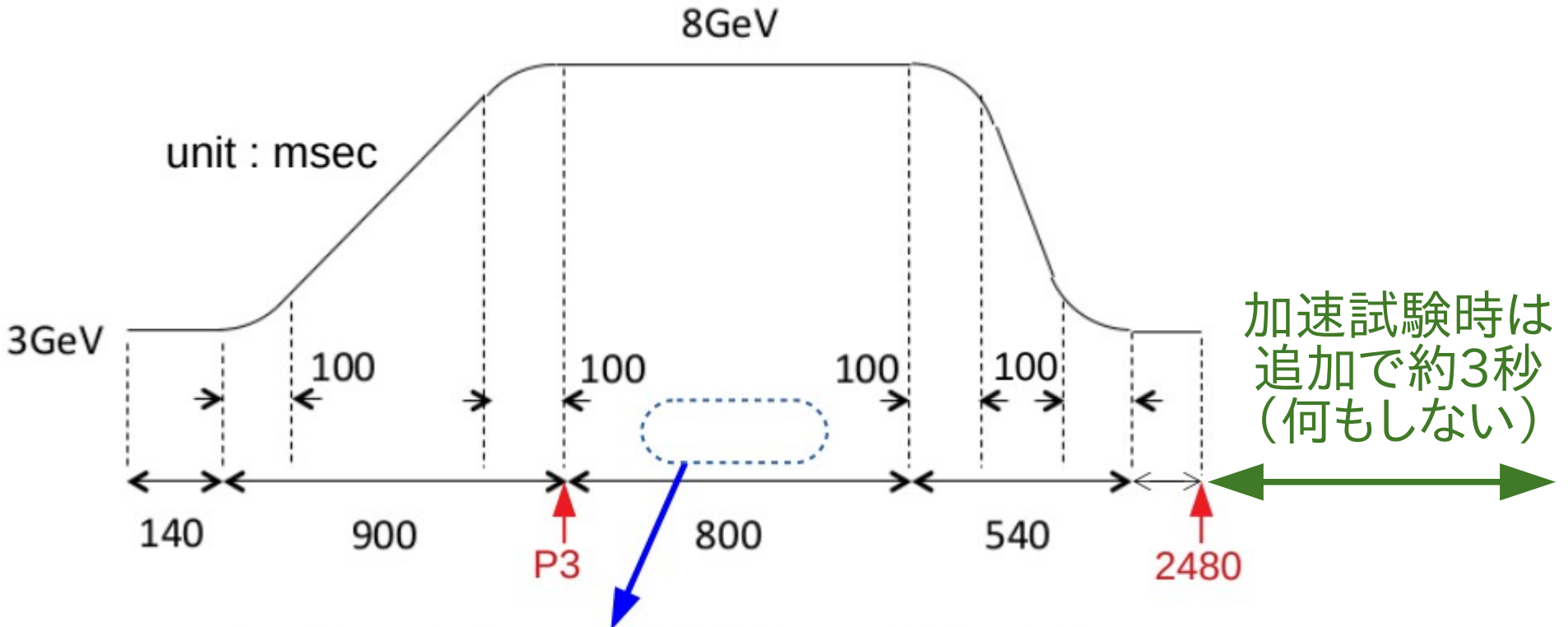
## COMET Phase1 (本番)でのビーム

エネルギー	8GeV
パワー	3.2 kW
陽子 / バンチ	$1.6 \times 10^7$
陽子 / ショット	$6.2 \times 10^{12}$
サイクル	2.5 秒
取出し時間	0.5 秒

9バケツのうち、4個にビームをfill



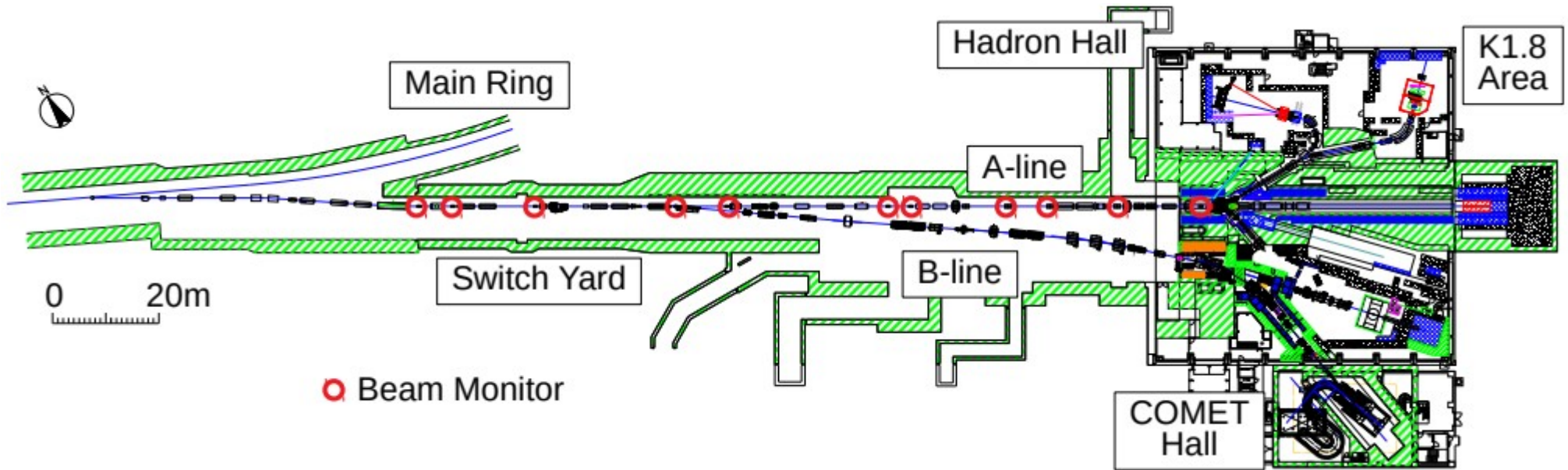
# ビームの時間構造



約0.5秒にわたってビーム取り出し

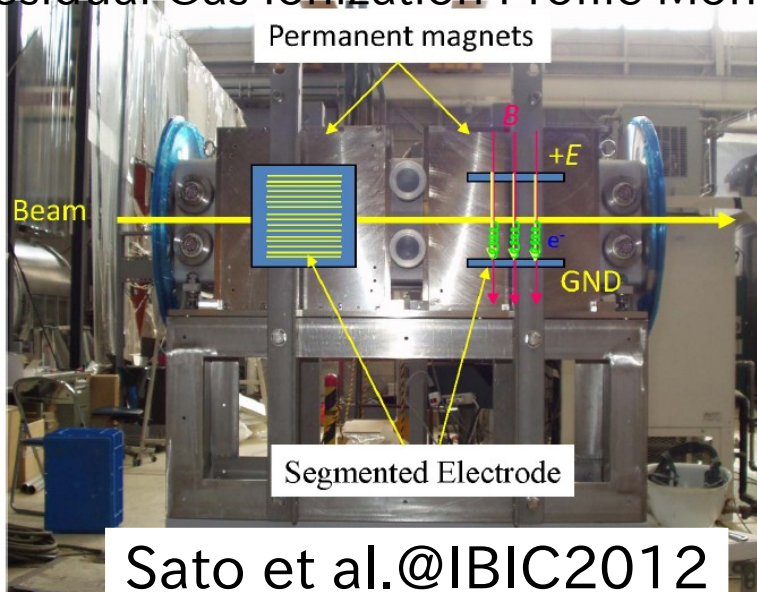


# ハドロン一次陽子ビームライン



## RGIPM

(Residual Gas Ionization Profile Monitor)



Sato et al.@IBIC2012

COMETはBライン(建設中)を使用

加速取り出し試験では既存Aラインへ取り出し・T1標的へ入射。K1.8エリアでExtinction測定。

赤丸のそれぞれの位置で水平・垂直方向のビームプロファイルを測定することができる。

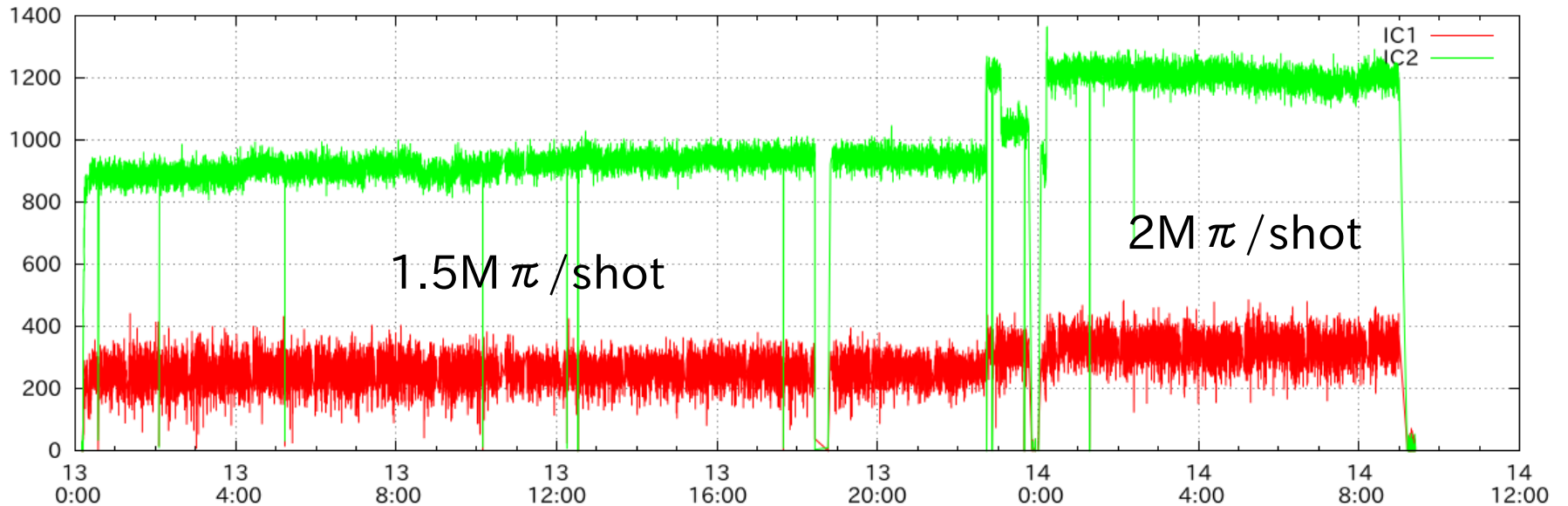
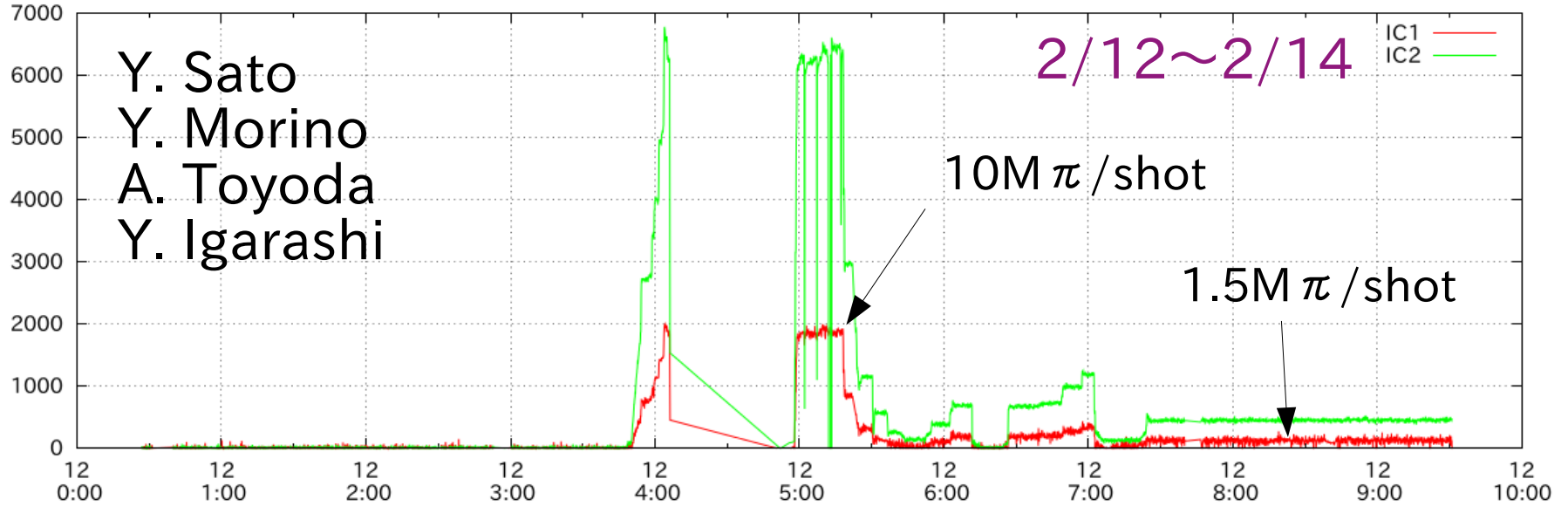
# ビームタイム

	日中	夜中
1/20	加速器スタディ	
1/21	加速器スタディ	
1/22	加速器スタディ	検出器調整 最初のビーム取出し
1/23	加速器スタディ	検出器調整
2/10	加速器スタディ	Extinction測定@MRアボート
2/11	加速器スタディ	検出器調整
2/12	加速器スタディ	Extinction測定@K1.8
2/13	Extinction測定@K1.8	



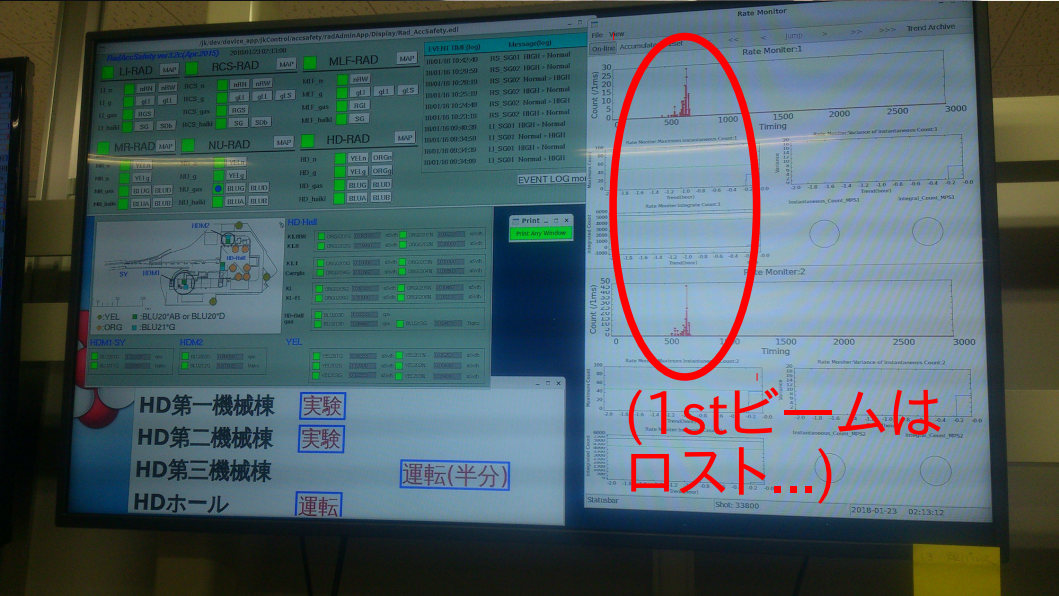
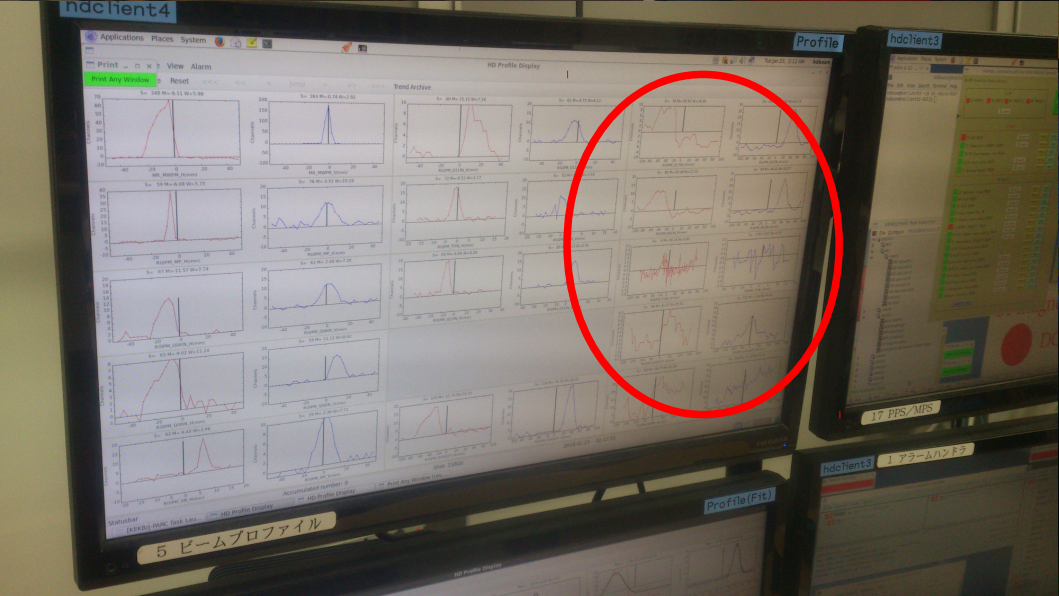
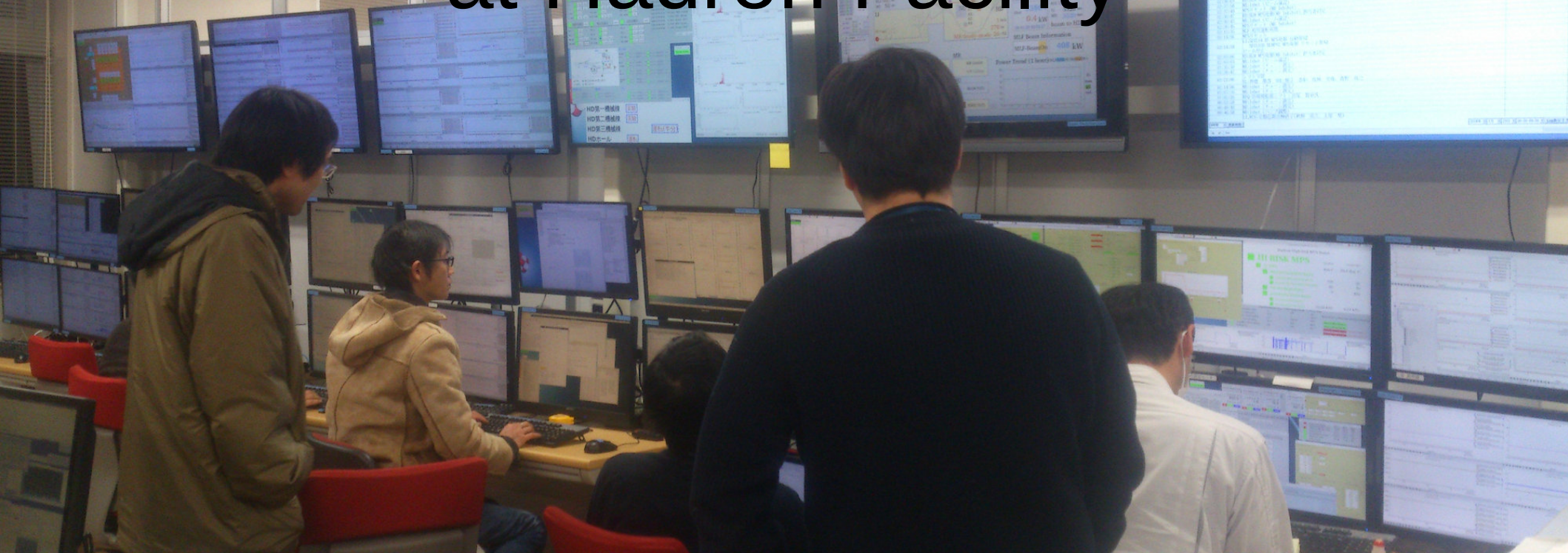
# 加速器の稼働時間

K1.8エリアのイオンチェンバーによる二次ビーム強度測定



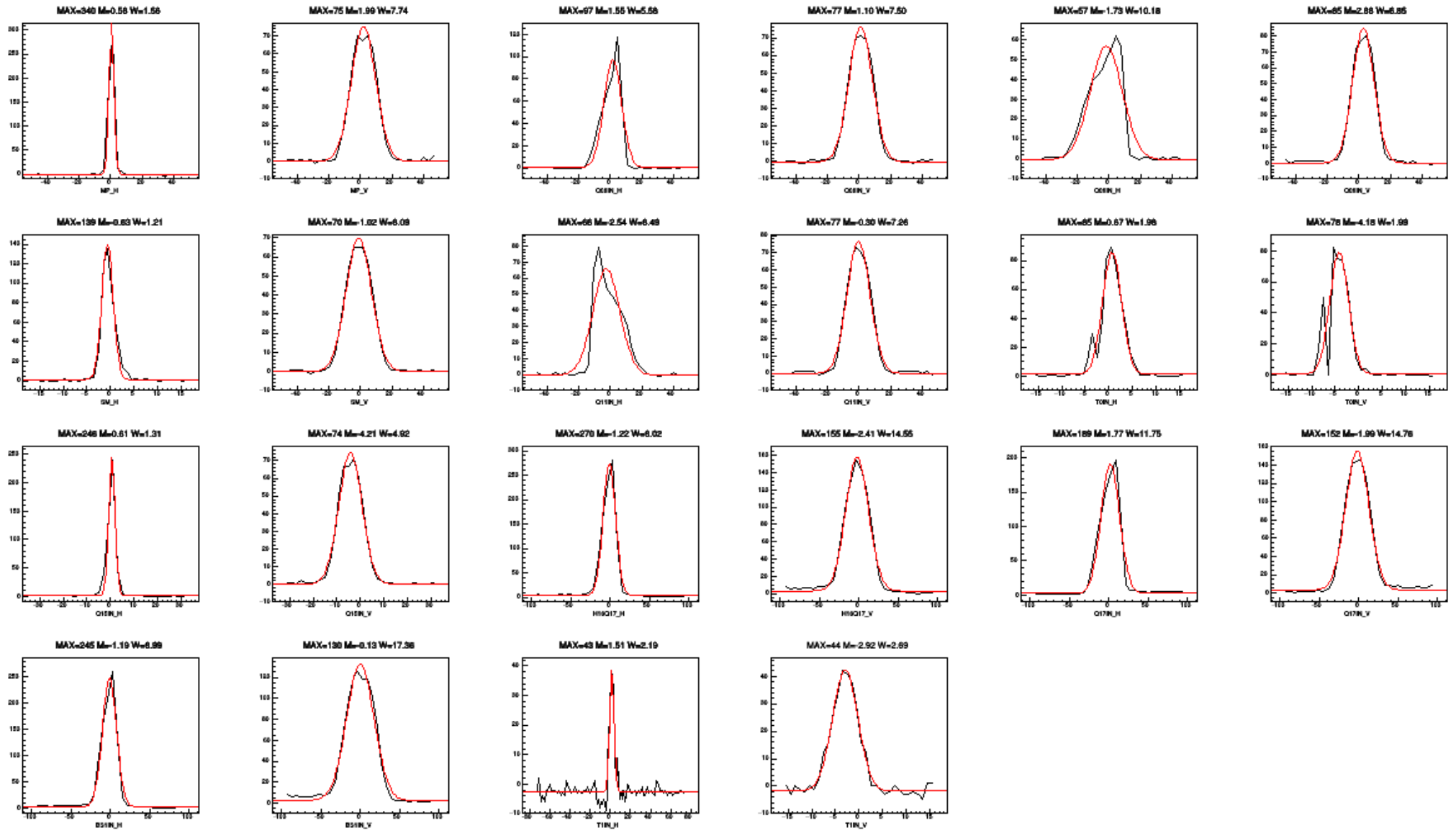


# The first 8GeV Bunched SX Beam at Hadron Facility





# ビームプロファイル測定



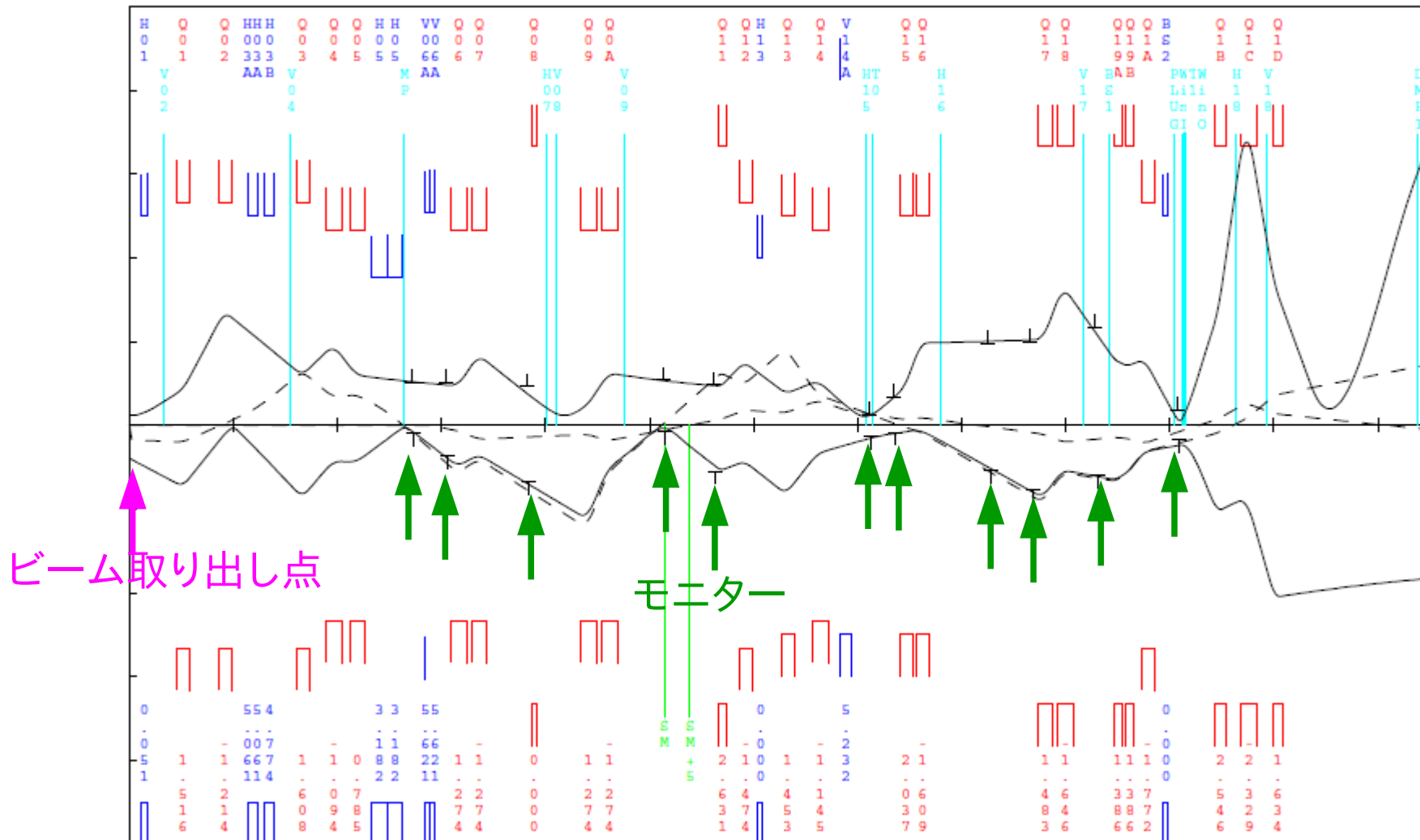
エミッタンス測定には11箇所でのビームサイズ(水平・垂直)の測定を利用  
ビームサイズは1shot(5.2秒サイクル)ごとに測定

# ビームエミッタンスの抽出

HD-A line, 8GeV,  $\sigma(T1)=2.5 \times 1.0\text{mm}$

Zmin= 0.00 m Zmax=250.00 m Xmax= 15.0 cm Ymax= 15.0 cm Ap \* 1.00

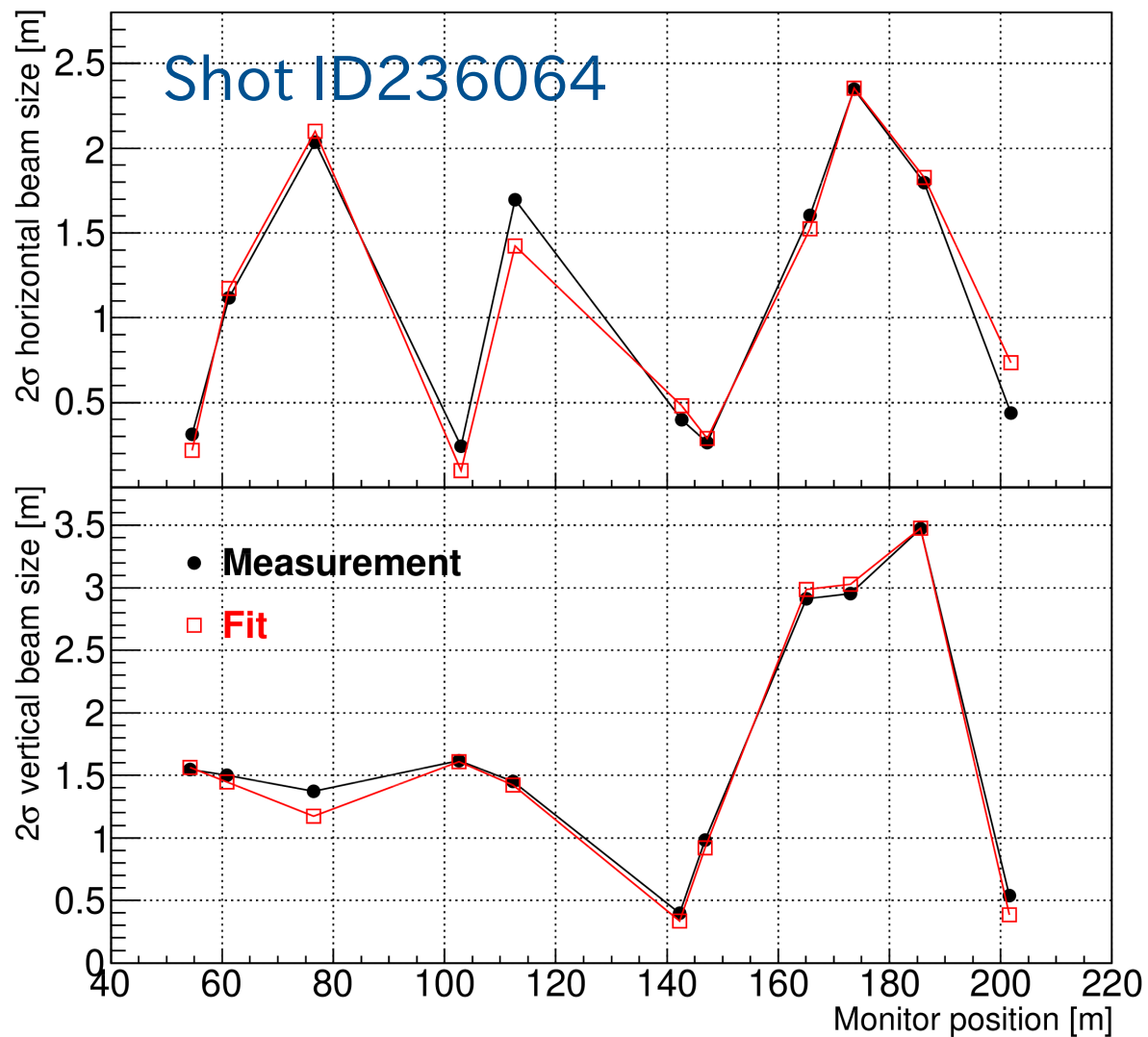
Mon May 21 10:32:46 2018



PSI TRANSPORTによるフィット

- フリー変数 : ビームプロファイル@取り出し点
- 拘束条件 : モニター位置でのビームサイズ

# ビームエミッタンスの抽出



PSI TRANSPORTによるフィット

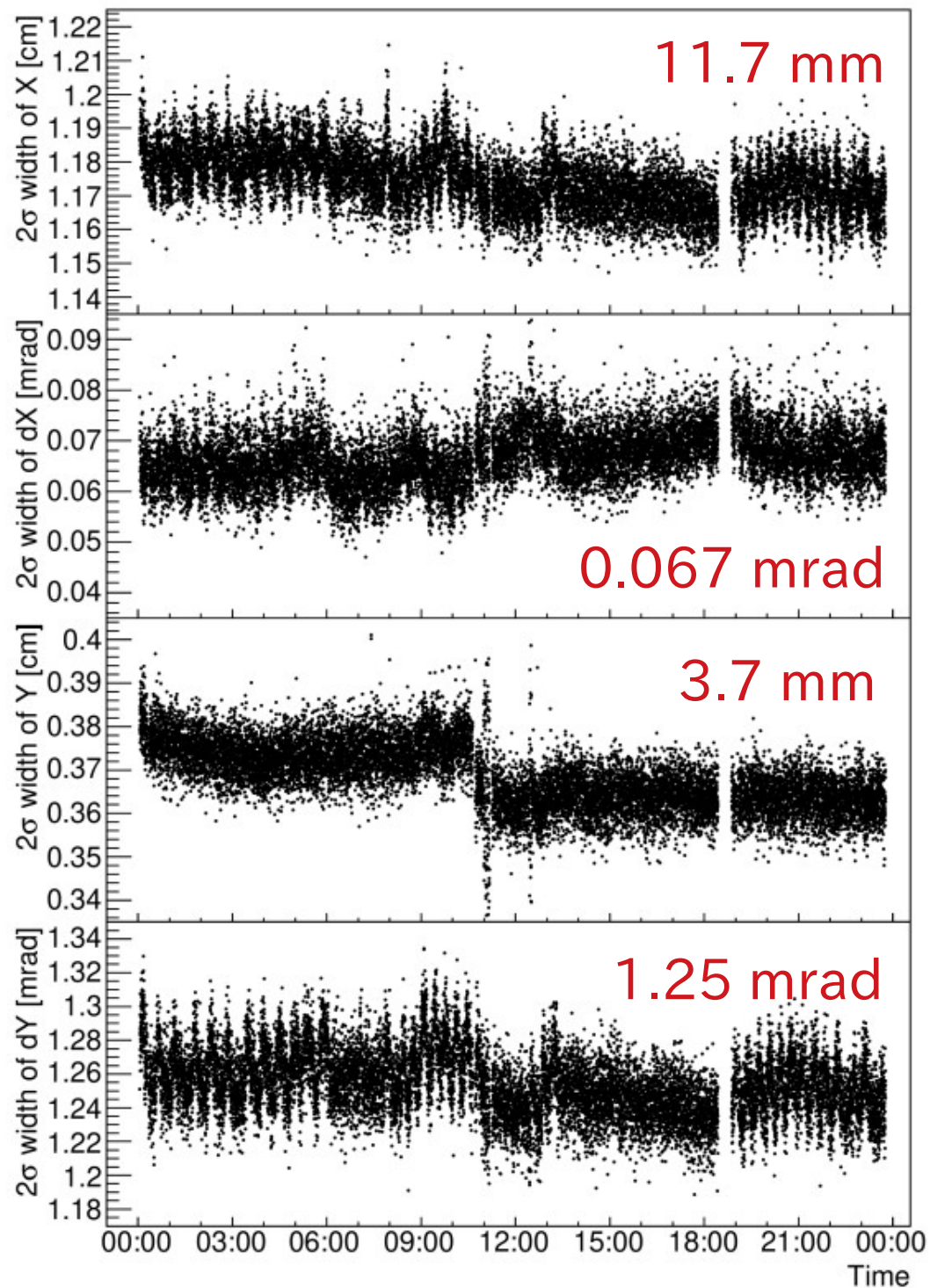
- フリー変数 : ビームプロファイル@取り出し点
- 拘束条件 : モニター位置でのビームサイズ

# エミッタンス 測定結果

	2 $\sigma$ Emittance ( $\pi$ mm mrad)	
	H	V
8GeV (予想値)	1.1	3.5
8GeV (測定値)	0.78 (0.063)	4.6 (0.14)
30GeV (2018/02/14)	1.03	1.60

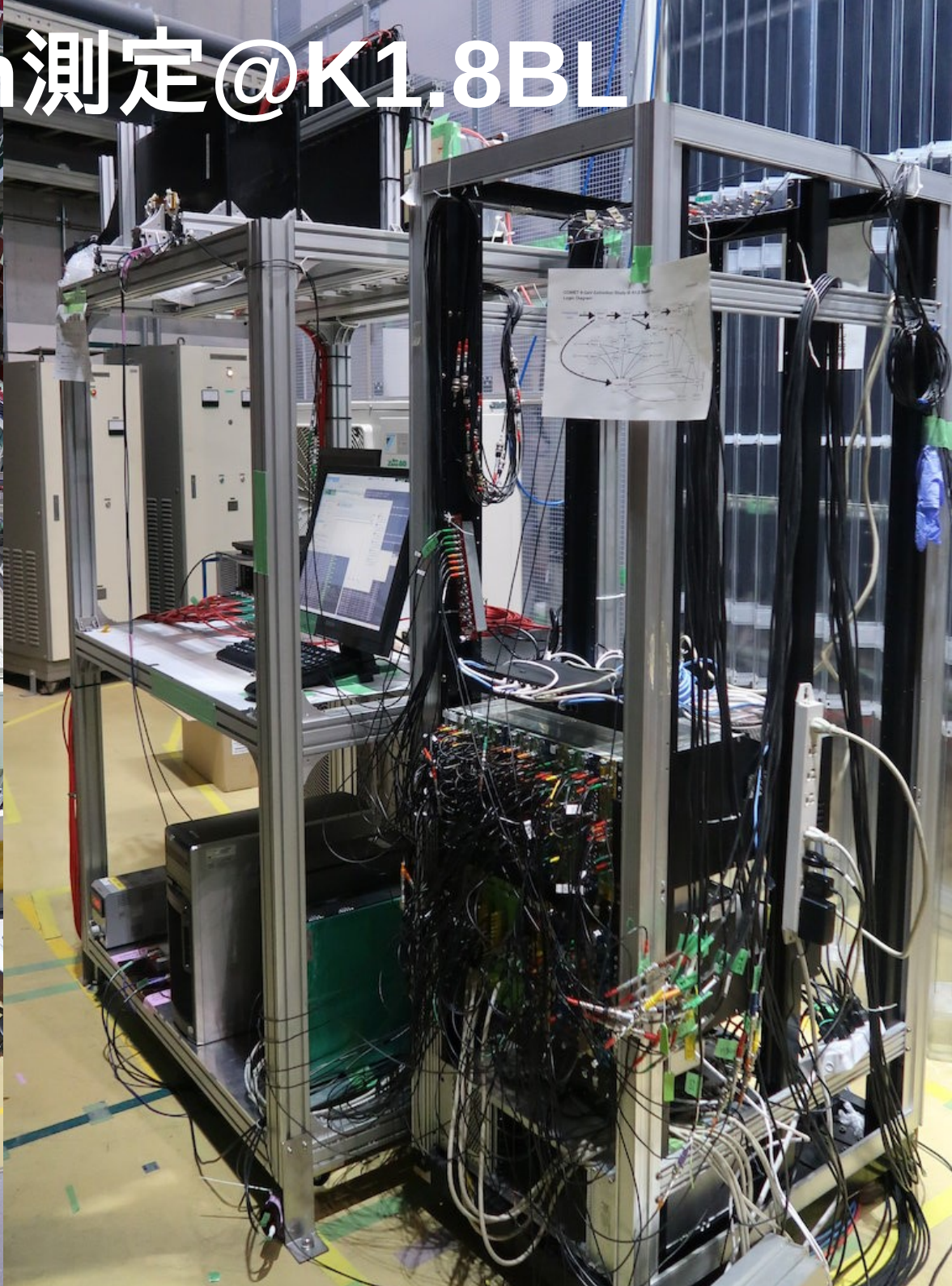
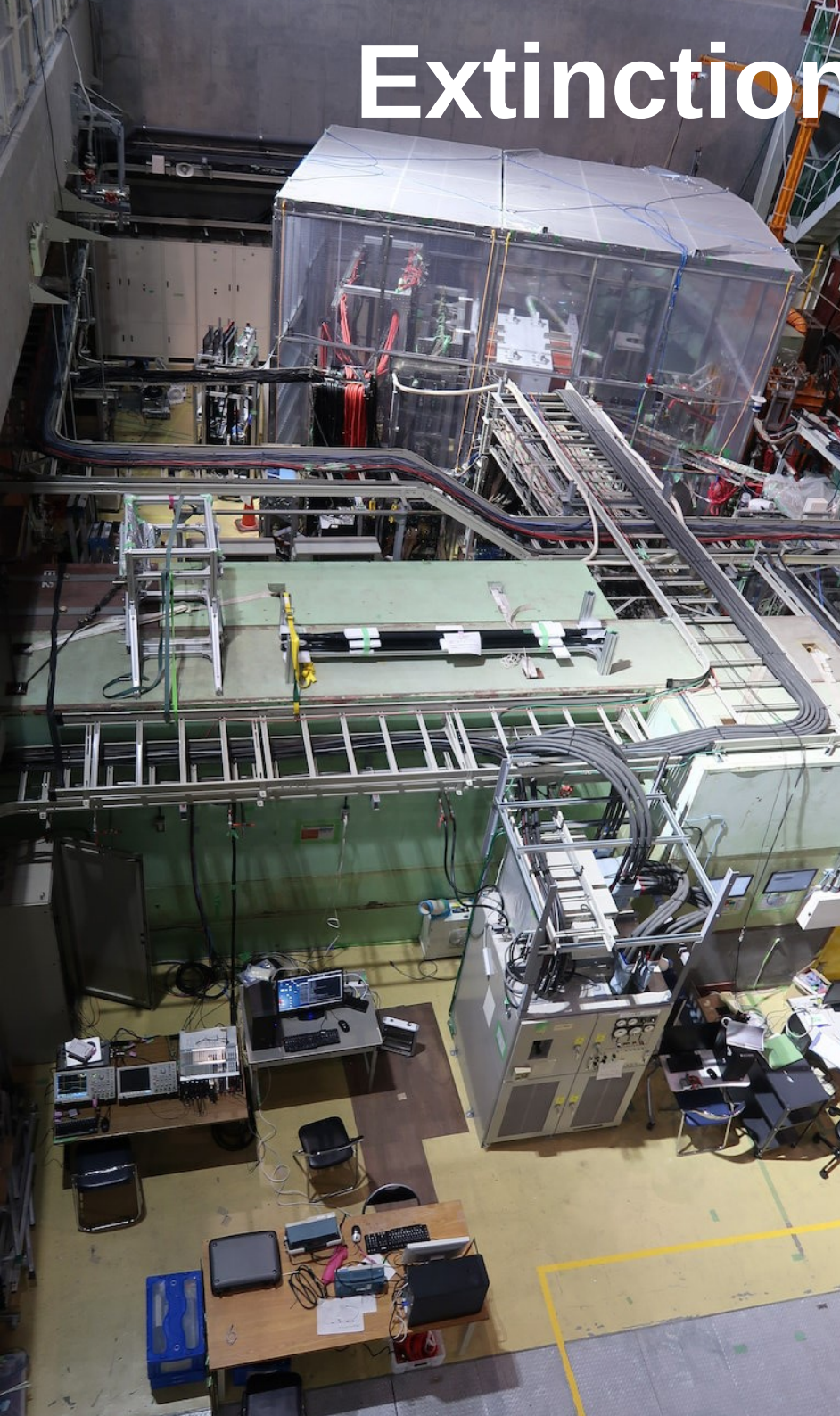
- 水平方向は予想より小さい  
(ESSによるビーム取り出し)。  
垂直方向は予想より大きい。

- エミッタンスのふらつきは  
せいぜい10%程度。



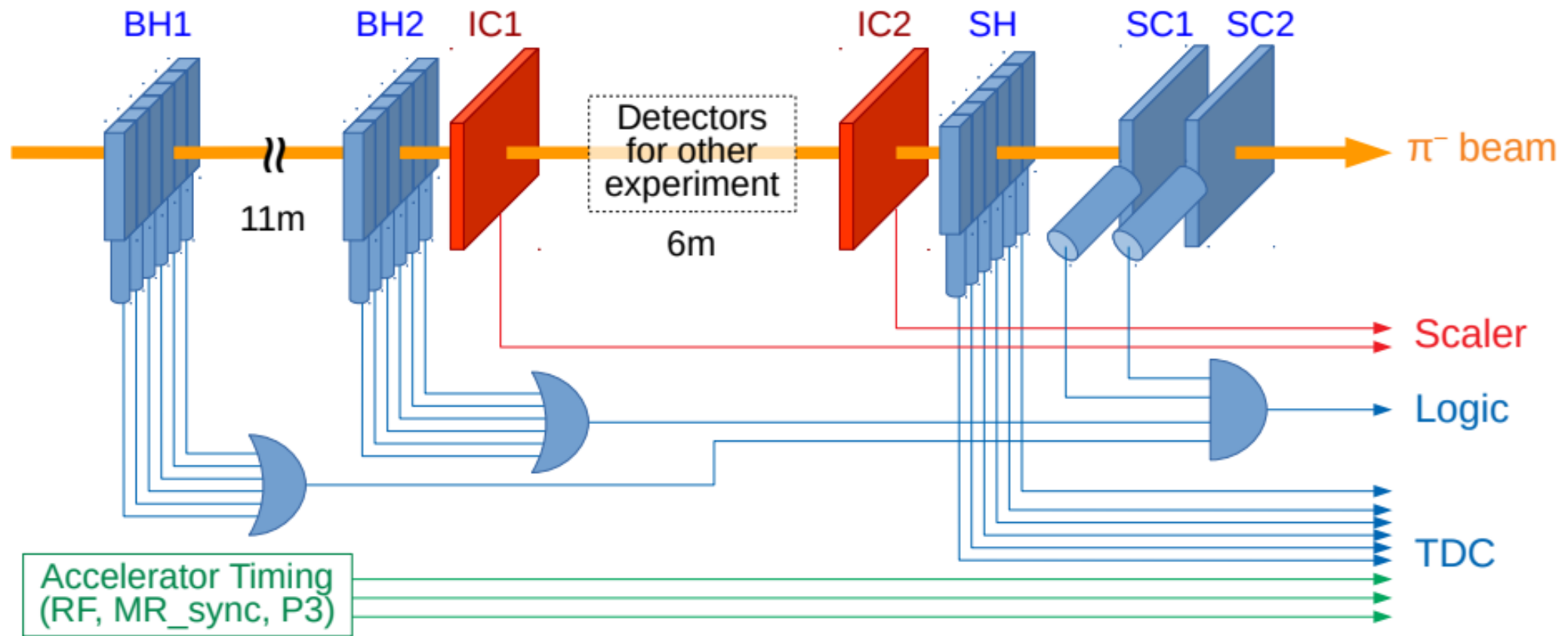


# Extinction測定@K1.8BL





# 実験セットアップ@K1.8BL



- 一次陽子ビームと二次 $\pi$ ビームの時間構造は同じはず
- 5層のカウンターでのコインシデンスでビーム粒子を同定
- 粒子数のカウントはSH (4cmw x 16ch)  
バンチ辺りの粒子数は約4個@1.5 M $\pi$  / ショット
- 3種類のTDCでの結果はコンシステント

# TDC

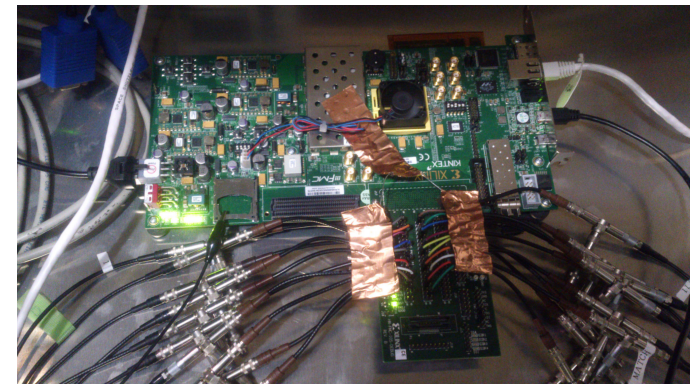
## Acqiris TC890

- 商用
- 分解能50ps、長時間(ダイナミックレンジ)測定
- 6チャンネル
  - ホドスコープSHのORを入力



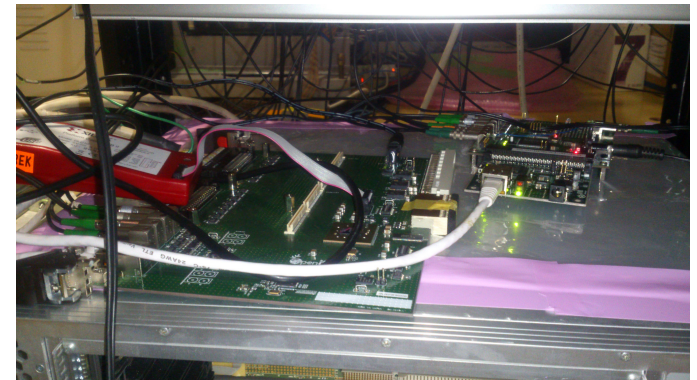
## Xilinx Kintex-7 FPGA評価ボード

- FPGAにTDCをダウンロード
- 分解能10ns
- 16チャンネル
  - ホドスコープSHを1本ずつ入力



## HUL (Hadron Universal Logic)

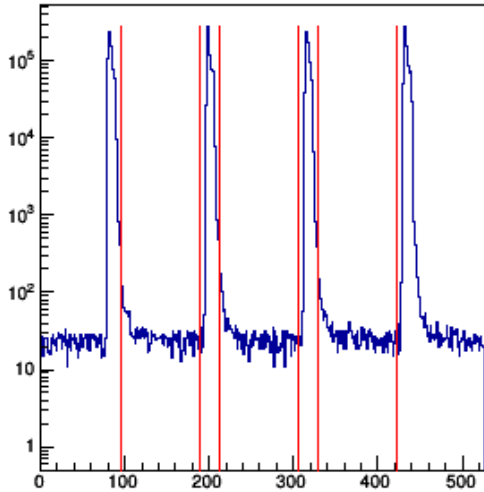
- FPGAベース
- 分解能10ns
- 64チャンネル
  - 5層のカウンターのコインシデンスを取らずに記録、オフラインで確認



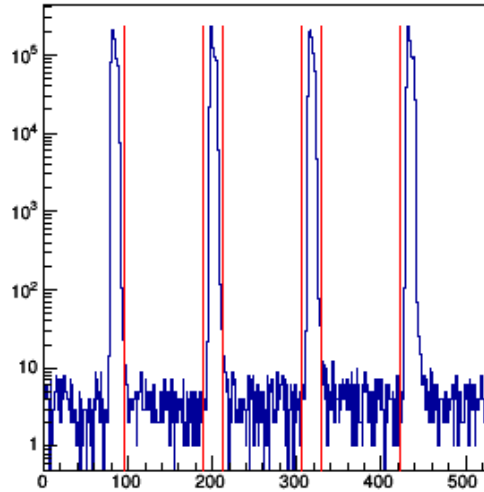
# フェイクヒット・検出効率

ロスは検出領域に由来

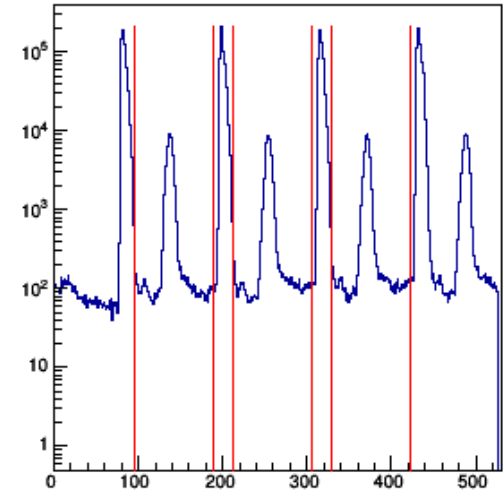
BH1 (eff=96.7%)



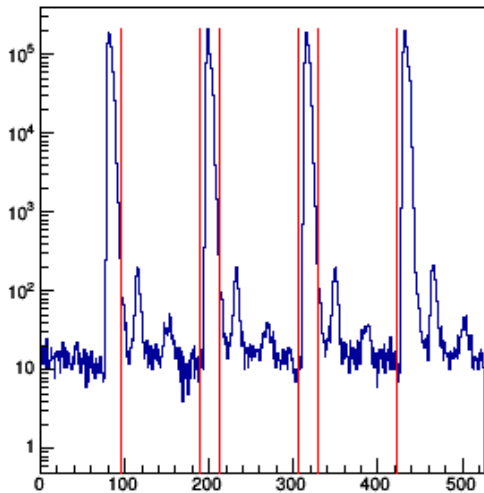
BH2 (eff=96.8%)



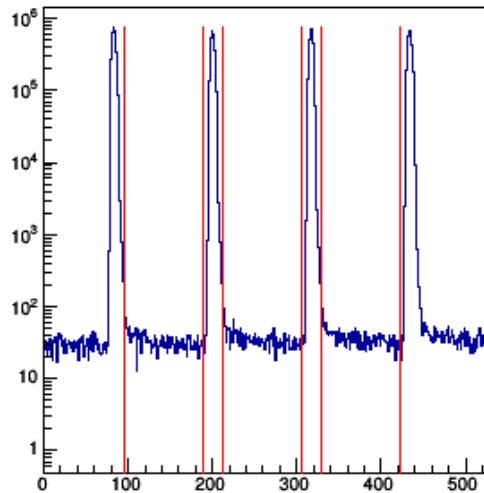
S1 (eff=99.7%)



S2 (eff=99.0%)



Hodo-OR (eff=99.8%)



Background Rate

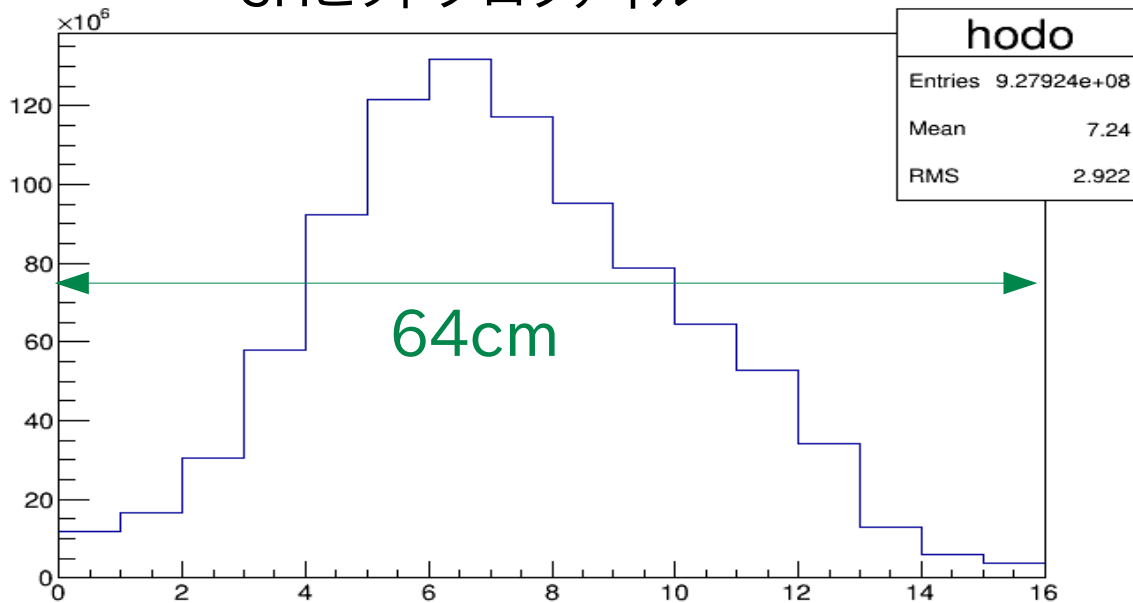
BH1 : 1.5 kHz  
BH2 : 0.19 kHz  
S1 : 39 kHz  
S2 : 1.5 kHz  
Hodo-OR : 1.6 kHz

Accidental  
Coincidence

$= 4 \times 10^{-13}$  Hz  
(1日あたり $10^{-8}$ 個以下)

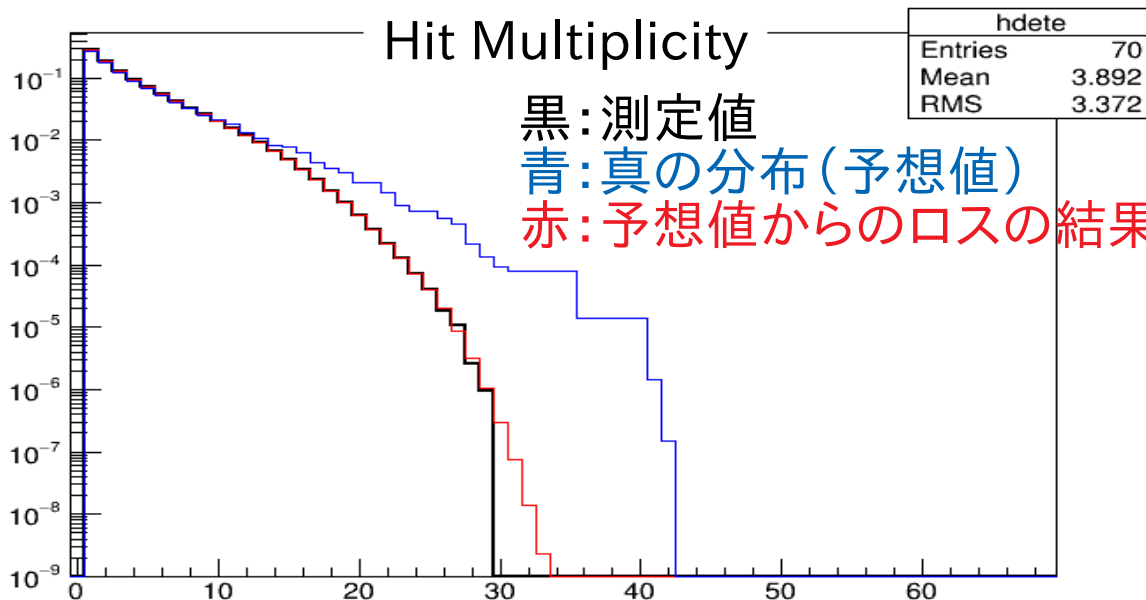
# 多重ヒットによる数え落とし

SHヒットプロファイル



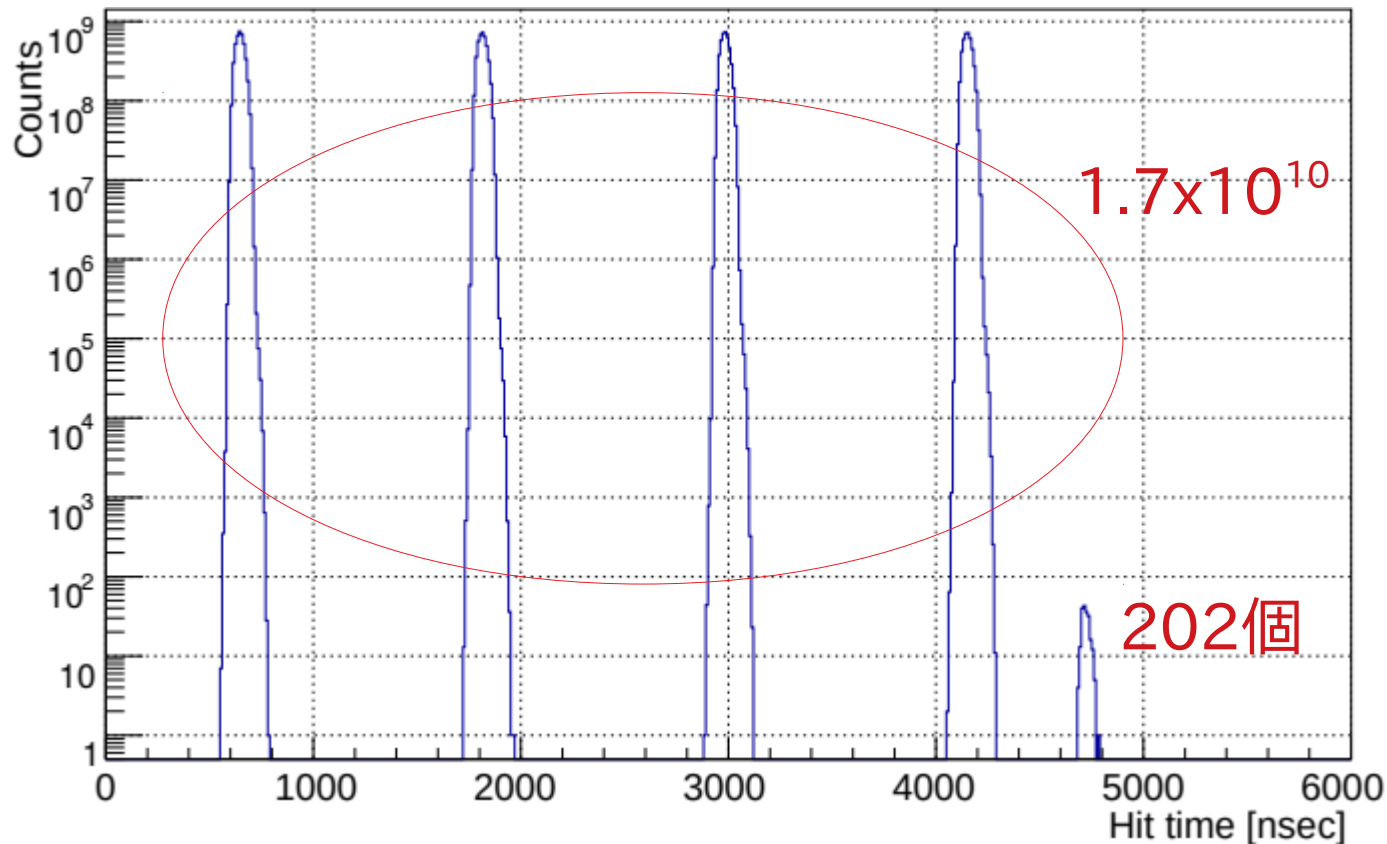
ホドスコープSHの  
位置でのビームの  
広がり  
→ RMS=12cm

Hit Multiplicity



Hit Multiplicityから  
数え落としの量を推定  
(バンチ時間巾 $\sim 100$ ns  
信号の時間巾 $\sim 30$ ns)  
→ ロスは10%程度  
(Extinction測定結果  
には考慮しない)

# Extinction測定結果



3種類のTDCでコンシステント

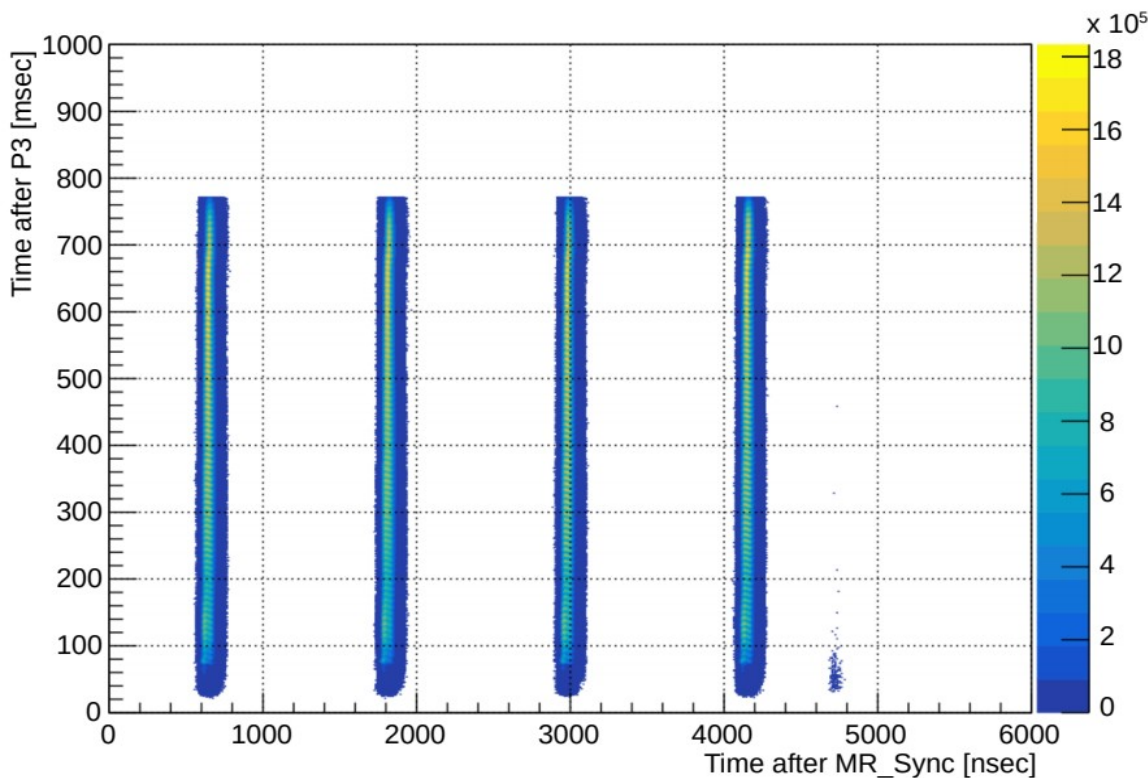
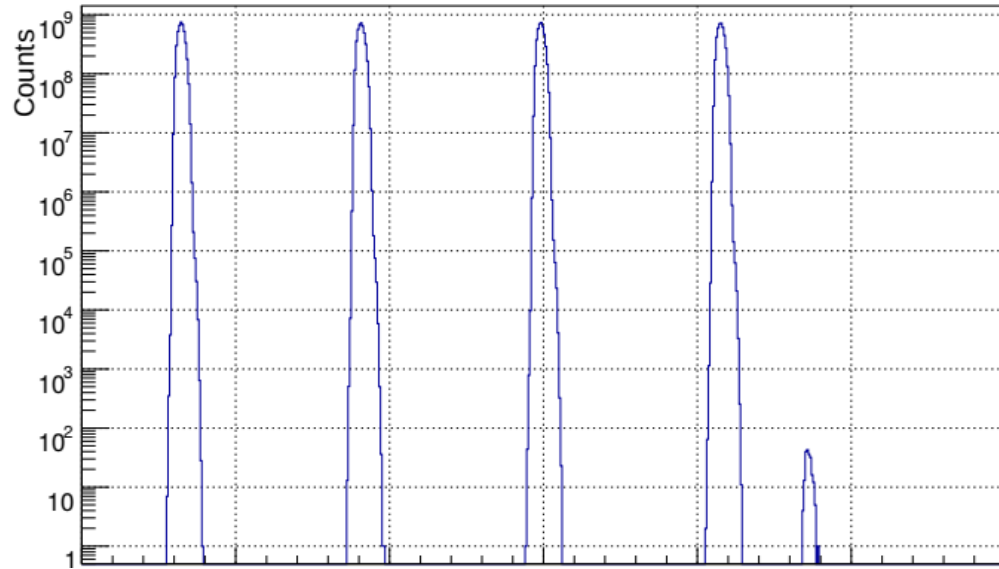
- Acqiris : 172 /  $1.0 \times 10^{10}$
- Kintex-7 : 185 /  $1.7 \times 10^{10}$
- HUL : 202 /  $1.7 \times 10^{10}$

Extinction : 要求値は $10^{-10}$ 以下

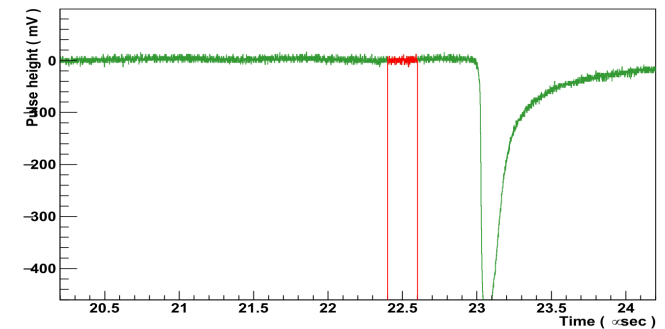
- $1.2 \times 10^{-8}$
- $7.8 \times 10^{-11}$ 以下 : 4バンチ目を使わない(統計3/4)



# Extinction測定結果



MRアボートラインでは  
見えていない  
→ メインバンチの前を  
測定しているため



残留陽子は  
- 4番目のバンチの後  
- ビーム取出し直後  
で見えている  
→ 解決のカギ

# まとめ

2018年1, 2月にJ-PARC COMET実験のための初めての8GeV Bunched Slow Extractionを行った。

- ビーム取り出し後のビームエミッタンス
  - Extinction
- の測定結果が得られた

ビームエミッタンス

- 水平方向 : 0.78 (0.063)  $\pi$  mm mrad
  - 垂直方向 : 4.6 (0.14)  $\pi$  mm mrad
- 予想値と比べると水平方向は多少小さく、水平方向は多少大きいですが、予想の範囲内といえる。この情報をもとに下流のビームライン光学、実験の感度などを検討中。

Extinction (要求値  $10^{-10}$ 以下)

- $1.2 \times 10^{-8}$
  - $7.8 \times 10^{-11}$ 以下 : 4バンチ目を使わない場合 (統計3/4)
- 残留陽子は4番目のバンチの後、取り出し直後に測定されており、この情報が解決の糸口となることが期待される