

# J-PARC RCS MWPM信号読出系の開発

JAEA J-PARCセンター

畠山衆一郎

# 発表内容

1. J-PARC の紹介
2. RCS の特徴
3. MWPM について
4. MWPM の信号処理系
5. まとめ

# 1. J-PARCの紹介

Intensity frontier

Japan Proton Accelerator Research Complex (大強度陽子加速器施設)



画像: J-PARC公式 (<https://j-parc.jp/>) より

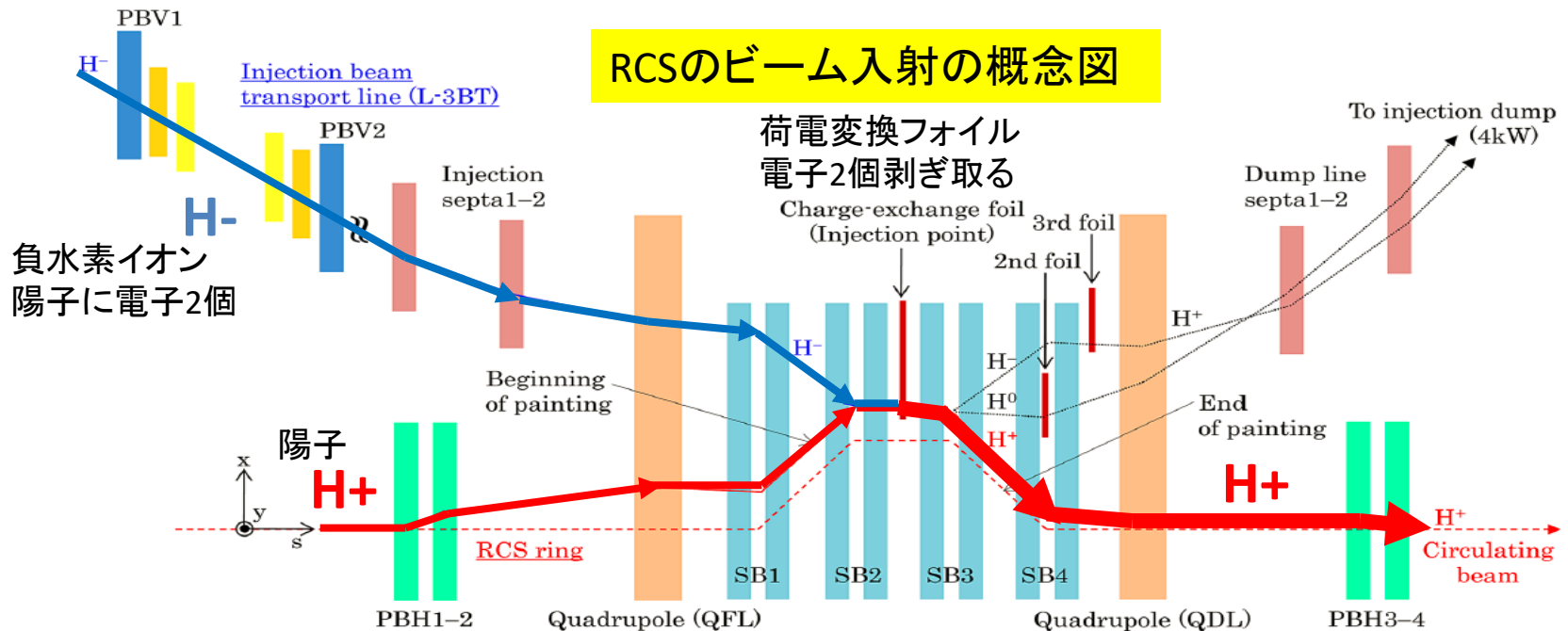
## 2. RCSの特徴

### Rapid Cycling Synchrotron (3GeV シンクロトロン)



1. Rapid cycle (早い周期 25Hz(40ms): 入射・加速・取り出し20ms + キッカー充電時間20ms)
2. Energy booster (400MeV → 3GeV MA空洞による高い加速電圧)
3. Multi time injection (荷電変換により同じRFバケツに多数の中間バンチを入射)
4. Emittance control (ペインティング入射: 横方向: ペイントバンブ、縦方向: RF位相オフセット)

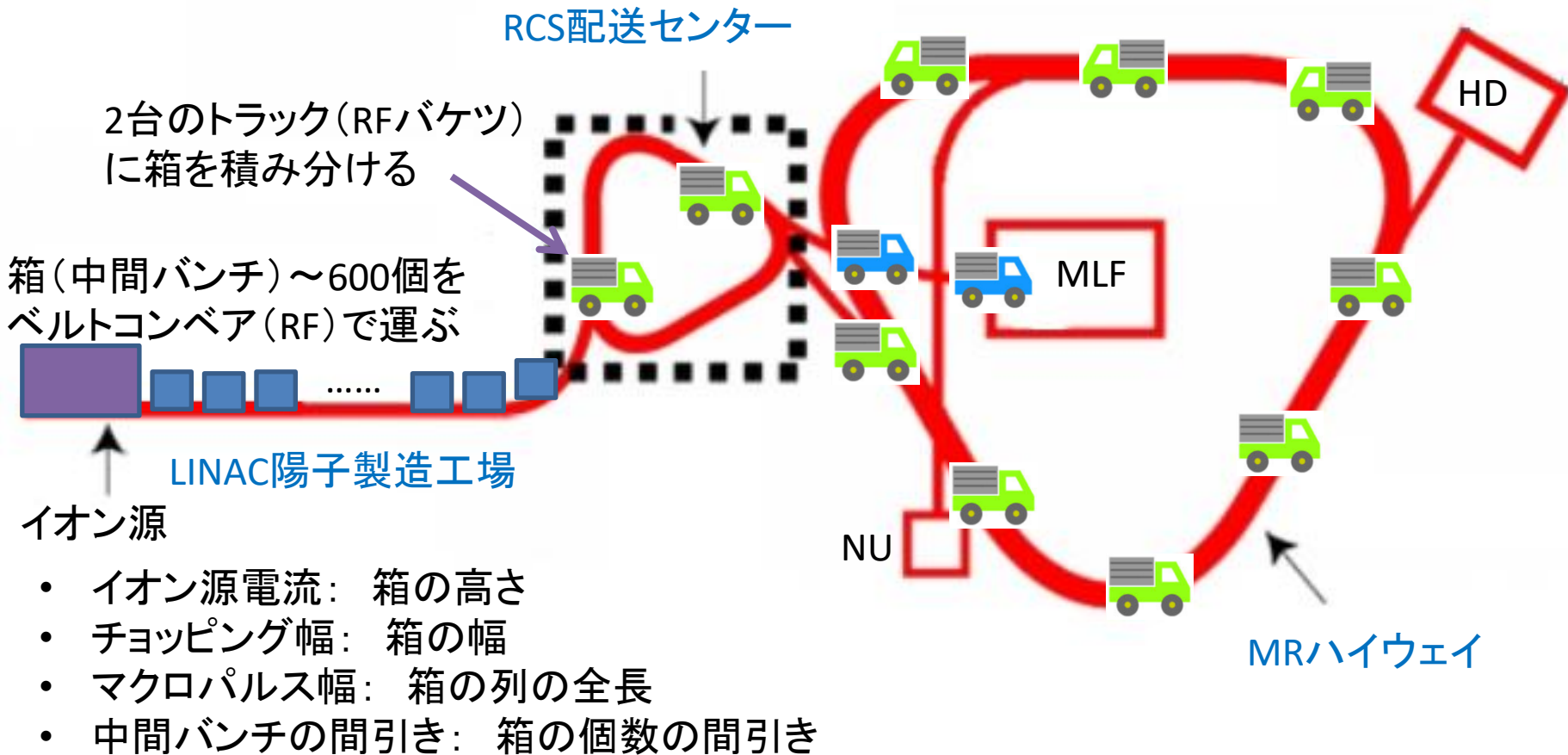
1サイクルあたりの粒子数はLINACで調整する  
(イオン源電流、チョッピング幅、マクロパルス幅、中間バンチの間引き)

#### RCSのビーム入射の概念図

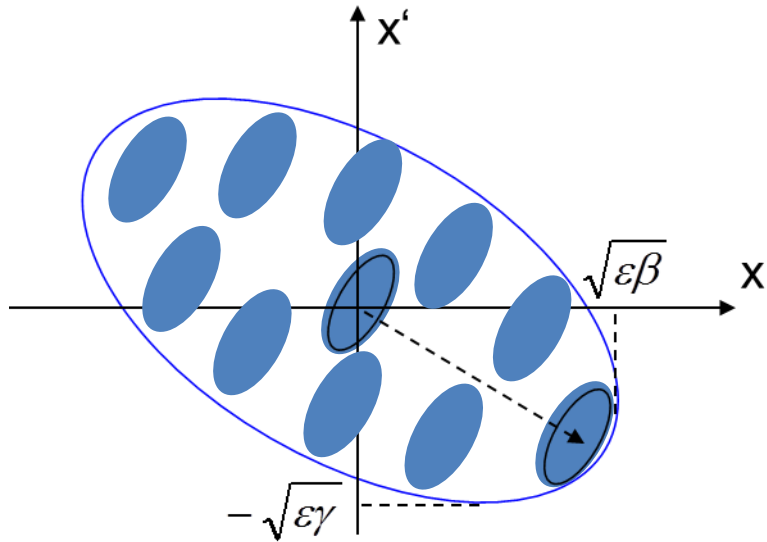


# J-PARC 陽子ビームの流れ (流通業による例え)

-  MR行トラック  
( $\epsilon=50\sim 100\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ )
-  MLF行トラック  
( $\epsilon=150\sim 200\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ )



# ペインティング入射



LINACからのビーム ( $\varepsilon \sim 4\pi$ ) を  
位相空間上に均等に塗り潰して  
いく (painting) ように入射する

均等に配置していくことにより  
たくさん積める！



画像: <https://sozai-good.com/archives/16750>より

### 3. MWPMについて

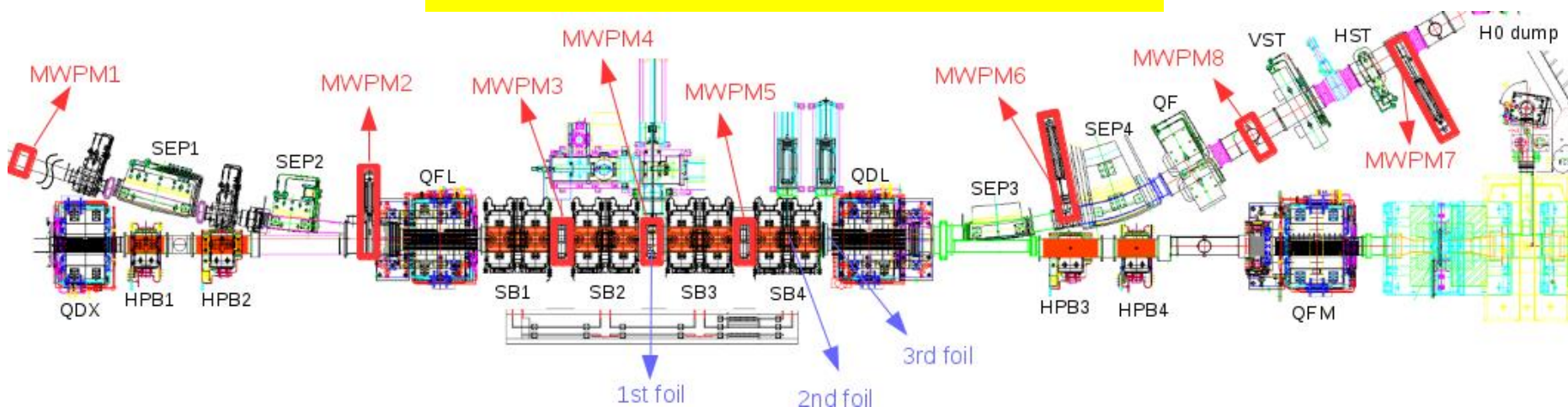
#### プロフィールモニタの必要性

- 周回ビームと荷電変換フォイルの多重散乱によるビームロスを減らしたい。
- 入射軌道をフォイルの端に当てるようにフォイルの位置と軌道の微調整が必要。
- ペインティング入射を行っているためビームの太さの情報が必要。

#### プロフィールモニタの種類

- **MWPM** : **M**ulti-**w**ire **P**rofile **M**onitor  
破壊型、入射ビーム(1pass)を測定
- **IPM** : **I**onization **P**rofile **M**onitor  
非破壊型、周回ビームを測定

#### RCS入射ビームライン上のMWPMの配置



# RCS入射部のシフトバンプ電磁石とMWPM

MWPM3

MWPM4

MWPM5

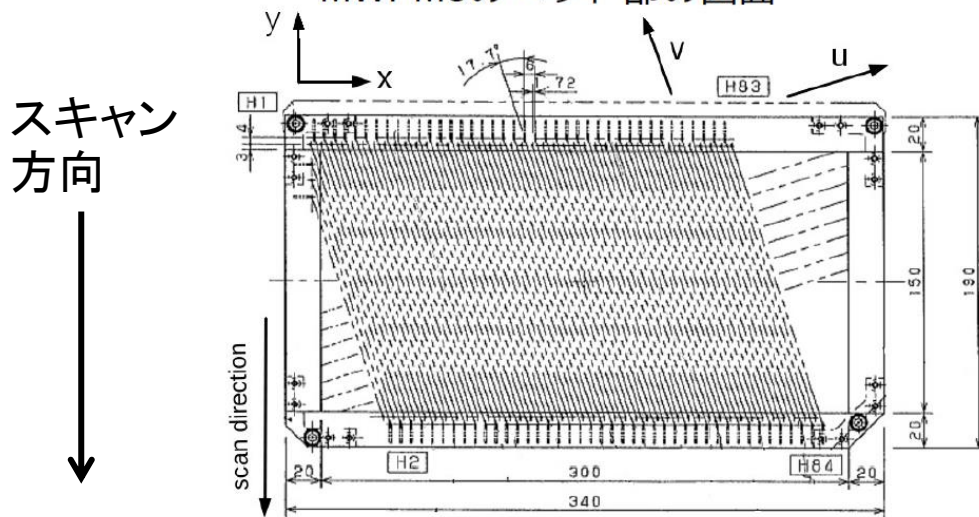




# MWPMヘッド部の構造

- MWPM1～5: H-ビーム測定 ワイヤー: 金メッキタンゲステン(W) 0.1mm
- MWPM6～8: H+ビーム測定 ワイヤー: チタン(Ti) 1mm

MWPM8のヘッド部の図面



- 1方向のscanで水平、垂直両方向のプロファイルを測定するためワイヤーが  $\theta=17.7^\circ$ 傾けてつけてある
- 水平 : u軸 → x軸
- 垂直 : v軸 → y軸

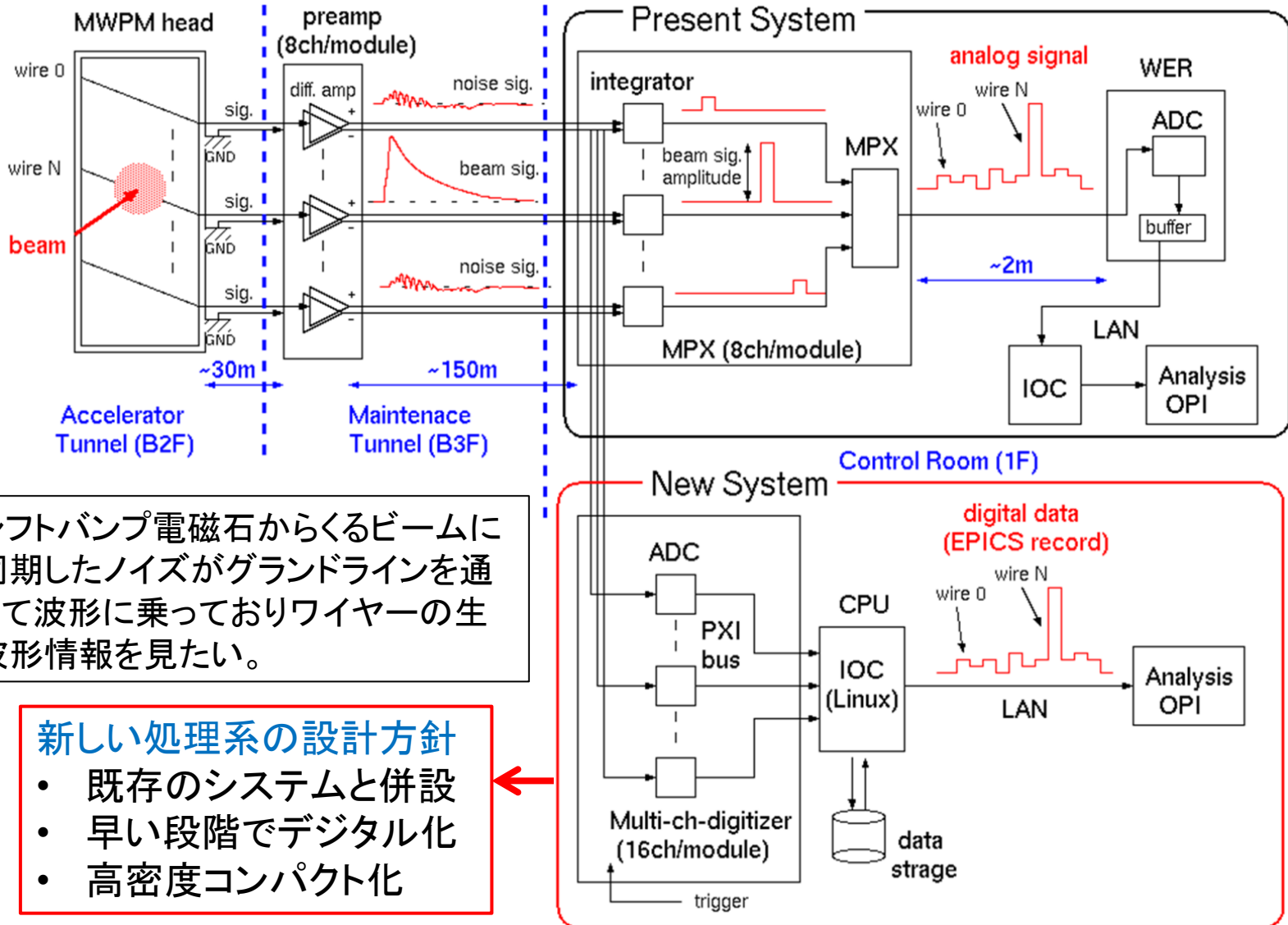
ビームの中心値

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

ビームサイズ (gaussian  $1\sigma$ )

$$\begin{bmatrix} \sigma_x^2 \\ \sigma_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_u^2 \\ \sigma_v^2 \end{bmatrix}$$

# 4. MWPM信号処理系



# IOC計算機



画像:<http://www.adlinktech.com>より

## ADLINK PXI-3950

- CPU: Intel Core2 Duo(T7500 2.2 GHz)
- メインメモリ: 2 GB 667 MHz DDR2
- HDD: 3.5inch 320 GB SATA
- インターフェース  
CompactFlash socket、GbE × 2、USB 2.0 × 4、  
RS-232/422/485 × 2、DVI-I × 1、GPIB (IEEE488) × 1

## OS

- Fedora 14 Linux 32bit版 kernel ver 2.6.35.6
- gcc ver 4.5.1

## PXIバス

Compact PCIをベースに計測用の同期バスを追加したバス規格。

(ナショナルインスツルメンツ社によりオープン工業規格として1997年に開発された)  
インテル系のCPUと相性が良い。

バス転送速度 32bit 133MB/秒, 64bit 533MB/秒

⇔ VMEバス モトローラ系 転送速度 32bit 40 MB/秒, 64bit 80 MB/秒

# 多チャンネルデジタイザー

## ADLINK PXI-2020

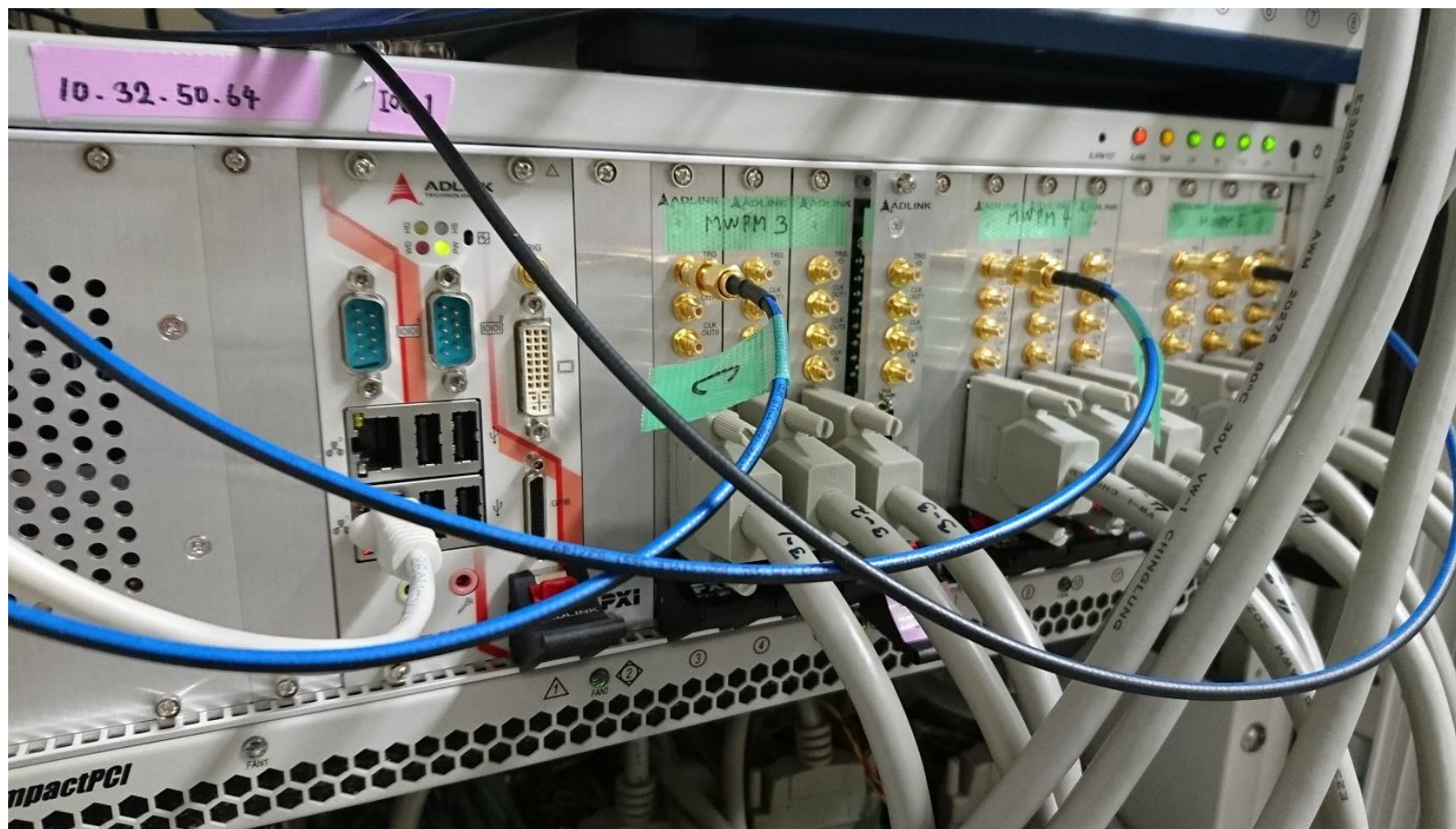
16-CH 16-Bit 250 KS/s Simultaneous Sampling  
DAQ Card

- 16CH 差動入力 ( $\pm 10V/\pm 2.5V$ 、 $1G\Omega$ )
- アナログ入力コネクタ 68-Pin SCSI-VHDC
- 外部トリガー入力 (TTL)
- PXIバスによるトリガー同期
- 16bit A/D resolution
- 入力ゲイン x1, x4 (ソフトで変更可能)
- オンボードメモリ 16 KB (8K samples/CH)
- 4CH TTL digital input/output



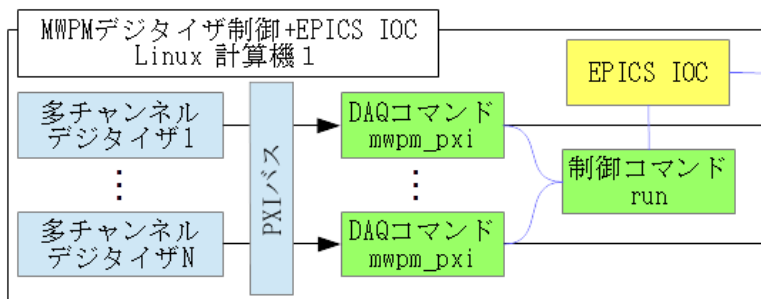
画像:<http://www.adlinktech.com>より

# 実際に組み込んだ様子

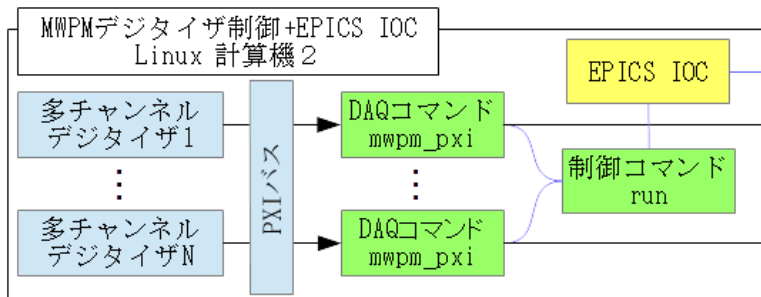


# 全体構成概念図

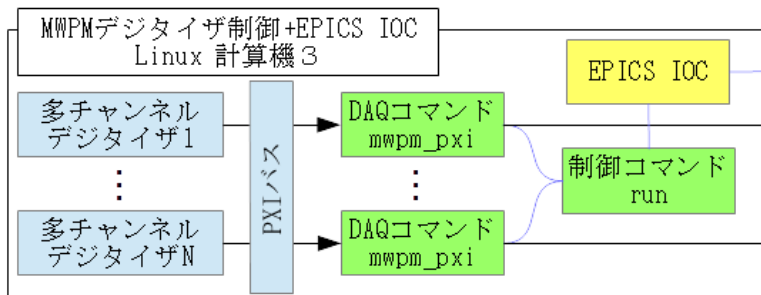
## MWPM3,4,5用IOC



## MWPM6,7用IOC



## MWPM1,2用IOC



データ解析・グラフ表示  
Linux 計算機

プロファイル再構成  
グラフ表示  
mpz\_ana

GUIアプリケーション  
mwpm\_gui\_all.tcl

ストレージ

ユーザー  
端末

# ソフトウェア開発環境

EPICS (R3.14) : Experimental Physics and Industrial Control System

- 様々な機器を統一したインターフェースで操作
- ネットワーク透過な共有変数を提供 ← CA(Channel Access)

IOCとデータ解析用計算機間でコマンド、データの送受に使用

## DAQカード デバイスドライバ

ADLINK社のサイトにユーザー登録することにより無料で入手可能  
対応言語

- Windows: Microsoft Visual C++, C#.NET, Borland C++, LabVIEW
- Linux (Fedora, Ubuntu, openSUSE): GNU C/C++ compiler



J-PARCの制御計算機がRedHat系のScience Linuxを採用しているため  
同じRedHat系のFedoraをOSとして採用。

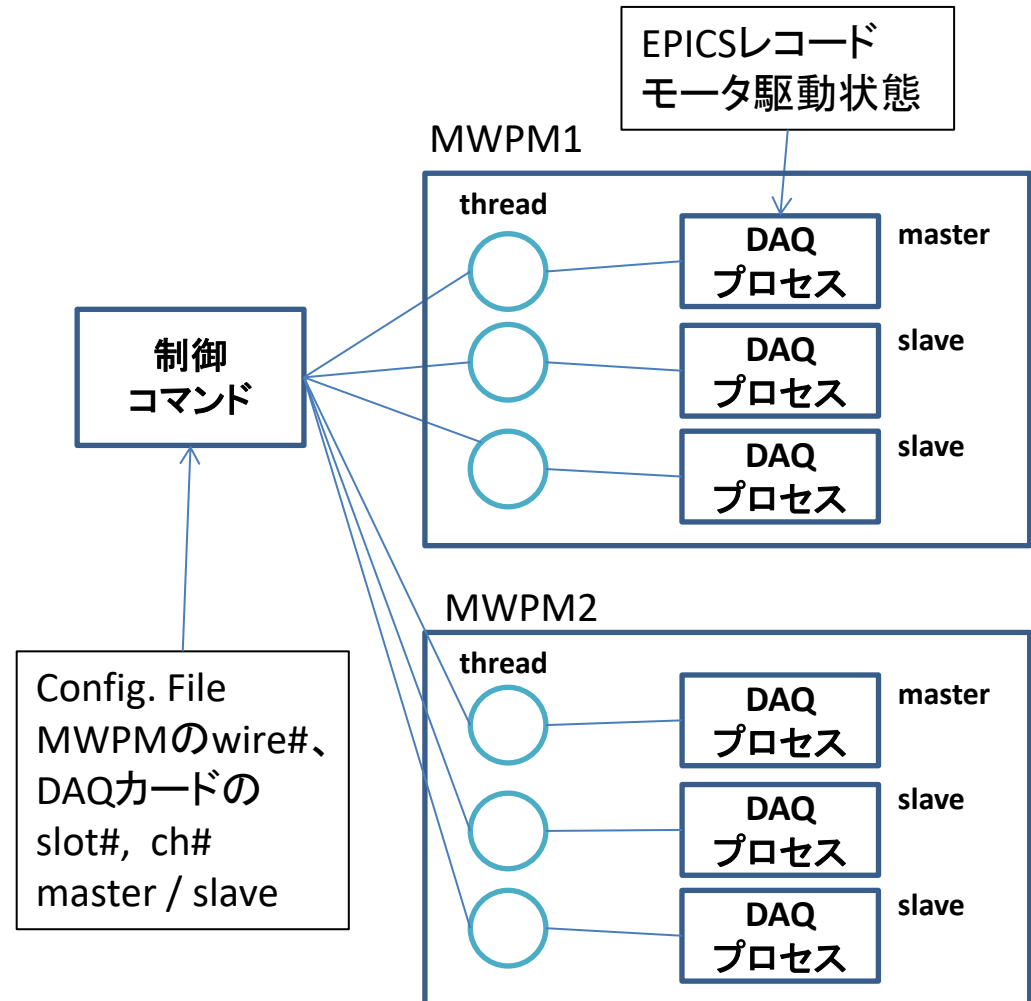
制御コマンド: g++/STL(Standard Template Library)

解析ソフト、グラフ描画: g++/STL、PLPLOT

ユーザーインターフェースGUI: tcl/tk

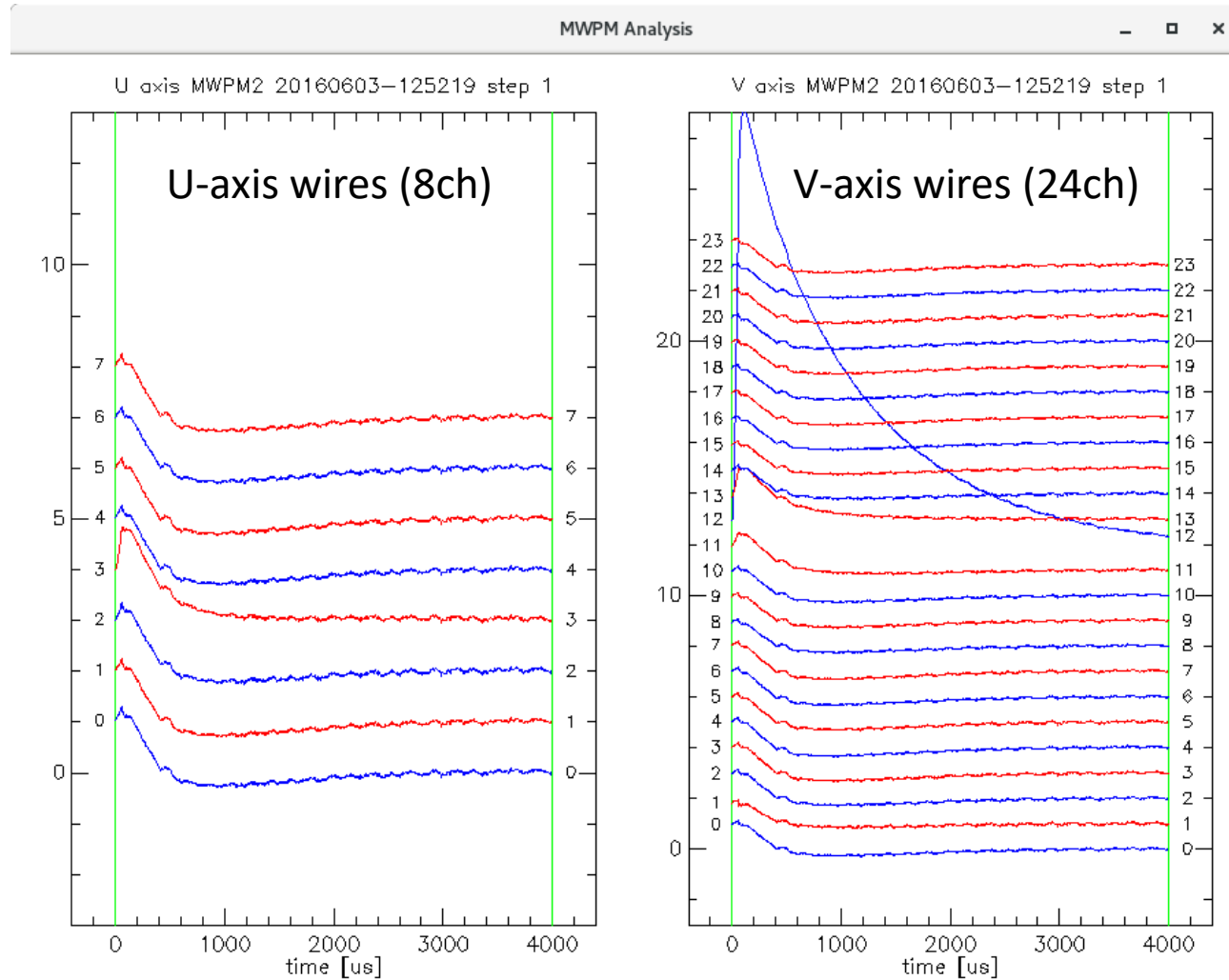
# データ取得の流れ

1. 制御コマンドでDAQカードの数だけスレッドを作り、各々のスレッドはDAQプロセスを起動して待機状態となる。
2. 各DAQプロセスはモーター駆動状態のEPICSレコードを監視しスキャンが開始すると同時にデータ取得を開始する。
3. DAQプロセスは規定回数データを取得するとデータをディスクにセーブして終了する。

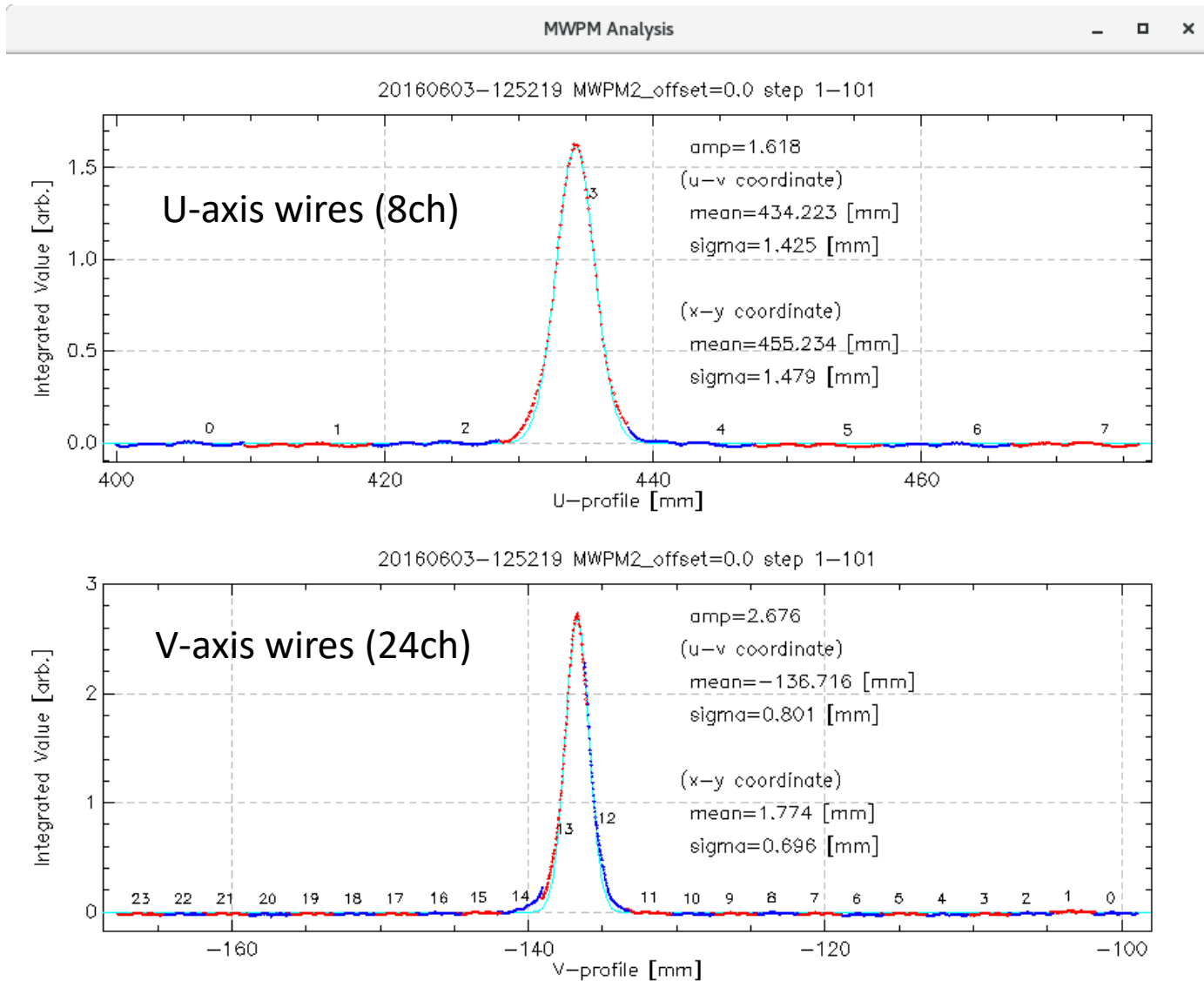




# MWPMの波形の例 (MWPM2)



# 再構成されたプロファイルの例 (MWPM2)



## まとめ

- J-PARC RCSのMWPMの信号処理系を開発した。
- PXIバスを用いた汎用的なCPU、高密度なDAQカードを用いてシステムを構築した。
- MWPMの全てのワイヤーの生波形が保存できるようになった。
- オフラインでワイヤー信号の積分範囲を指定できるため入射電磁石からのノイズの状況を確認しながらビームプロファイルを再構築できる自由度ができた。