

# J-PARC MR 新BLM信号処理システムについて

2016 計測システム研究会

2016 10/13

J-PARC/KEK 佐藤健一郎

# 目次

- 現状のMR-BLMシステム
  - 概要
  - 検出器: ゲイン変動
  - ビームロス校正
  - 応用例
- 現システムの問題点
- New MR-BLMシステムの紹介
  - 概要
  - 絶縁アンプ開発
  - ADC開発
- まとめ

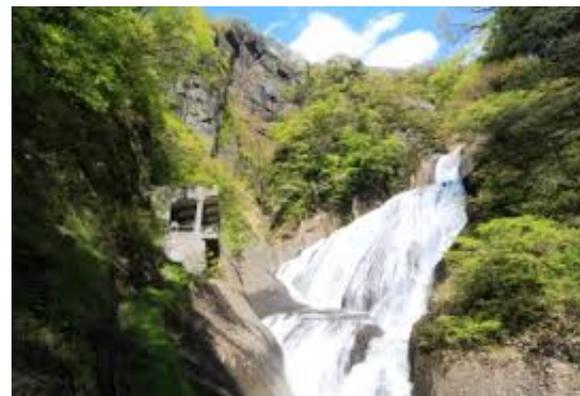
# MR-BLMシステム (MPSシステムの一部として) の特徴

## 放射線検出器の一般的な使用例



- 1) パルス測定
- 2) ヘッドアンプ (電荷⇒電圧パルス)
- 3) 電圧パルスは50Ωマッチング伝送
- 4) 後段アンプ、ADCでは電圧信号として扱う
- 5) 信号強度は基本的に安定
- 6) 検出器のゲイン調整 (たとえばPMT、MCP、比例計数管): パルスの頻度、平均電荷⇒ビーム調整

## MR-BLMシステム

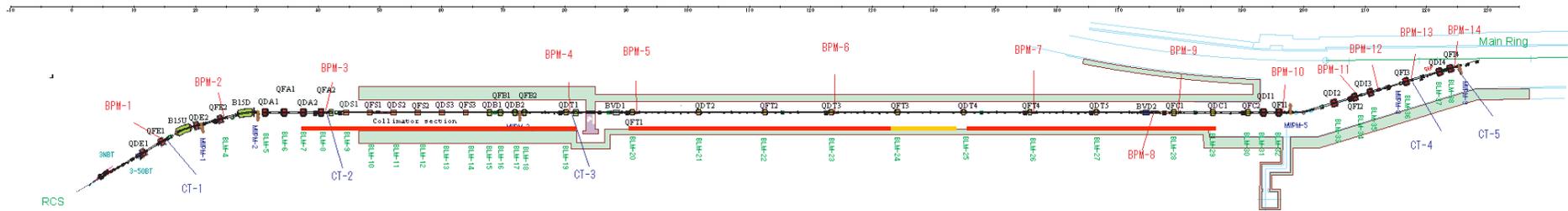


- 1) 電流波形
- 2) ヘッドアンプなし (耐放射線性、交換困難、Failは厳禁⇒堅牢なシステム)
- 3) ヘッドから長距離伝送 (100m~300m) → 要ノイズ対策
- 4) フロントエンドアンプでは電流信号: ケーブルも検出器の一部 → I-V変換回路 **注: 十分な電流が“安定に”取れない検出器では50Ωで受けてはいけない**
- 5) 信号強度はビームロス状況による (運転状況、電磁石等の異常による突発的なロス、ビーム不安定性によるロス)
- 6) ゲインは基本固定 ⇒ 低レベルのロスから高レベルのロスまでカバー ⇒ 高ダイナミックレンジが要求される

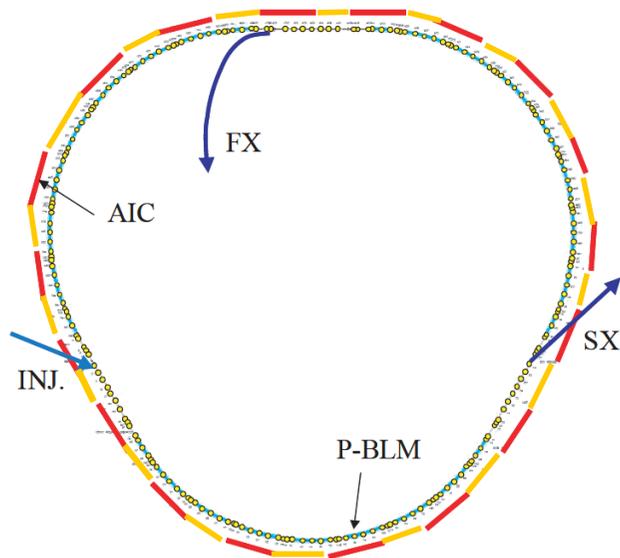
# 開発の歴史

- ・2008/12 MR 30GeV 加速成功
- ・2011/3 東日本大震災
- ・2011/6? New BLMシステム開発開始  
協力会社 株)小峰無線:コネクタ、有)啓:ADC、有)ギガ:アンプ
- ・2014/9 ADC, new Amp製作完了
- ・2014/11~  
2015/10 ADC dry run
- ・2016/7~  
2016/10 Install

# MR-BLMシステムの現状



3-50BT/BLMの配置 Beam Transport line to MR (3-50BT)



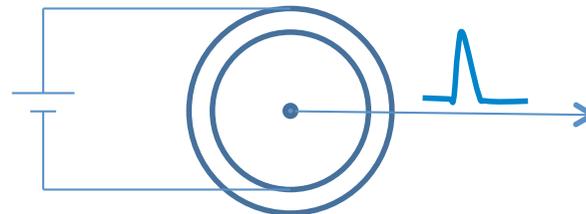
MR/BLMの配置

## P-BLM (比例計数管)

- ガス封入型 (Ar+1%CO<sub>2</sub>)
- ゲイン:  $2 \times 10^4$  @ バイアス2kV
- 各QM毎216(MR)+38(350BT)+ $\alpha$ =計316台
- MPS機器

## Long-AIC (空気イオンチャンバー)

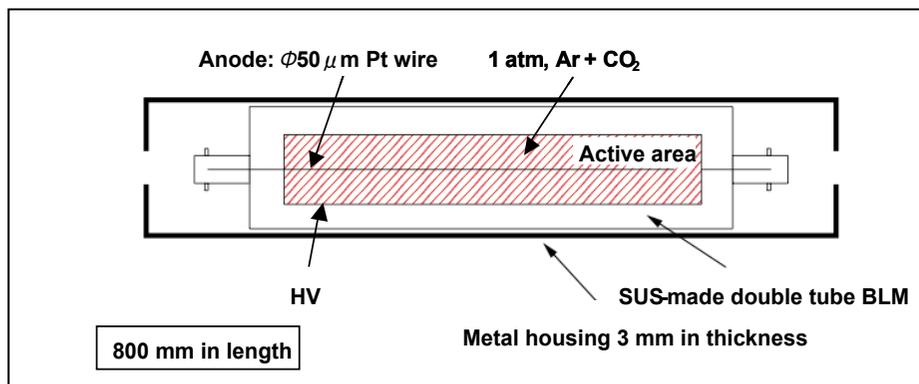
- ゲイン:  $\times 1$  @ バイアス2kV以下
- MR19系統+350BT3系統



ヘッド断面の模式図

# Proportional counter type BLM: P-BLM

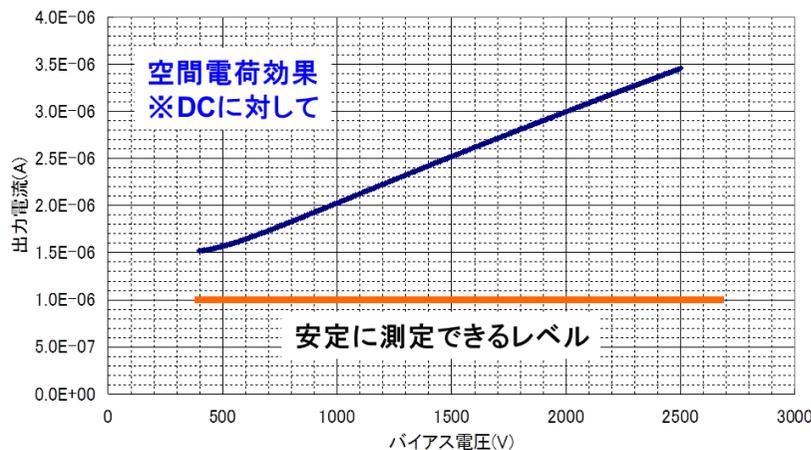
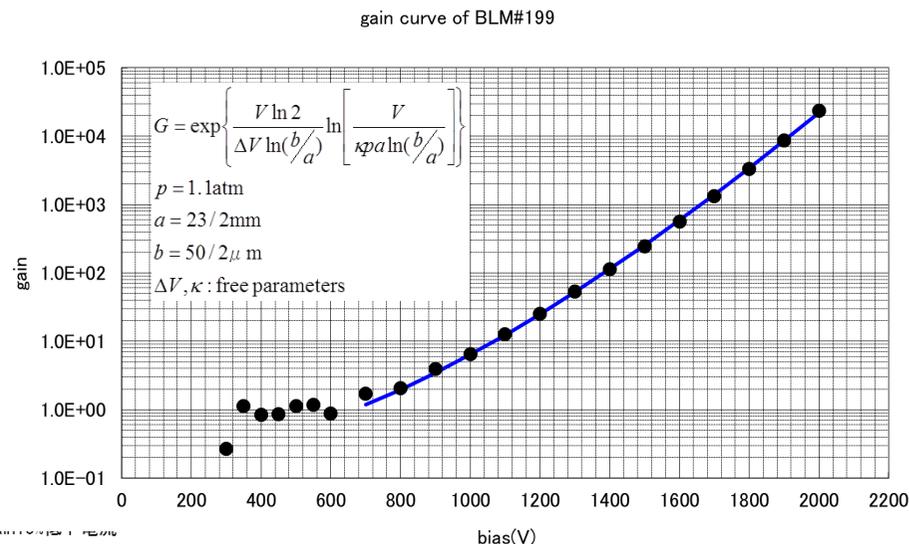
It is operated on analog mode, not pulse mode -> Output current is limited below 1uA



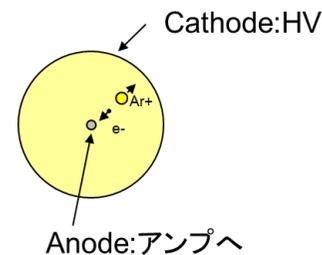
P-BLMの構造



全QM毎にP-BLMを設置



Calculated DC current limit which shows 10% gain degradation in case of DC



Rise time of electron induce pulse : 0.1μs  
 Drift time of Argon ions : 160μs  
 -> Positive charge sheath around anode wire make effectively the gain voltage and thus gain decrease -> Space charge effect

# Air Ionization Chamber: AIC

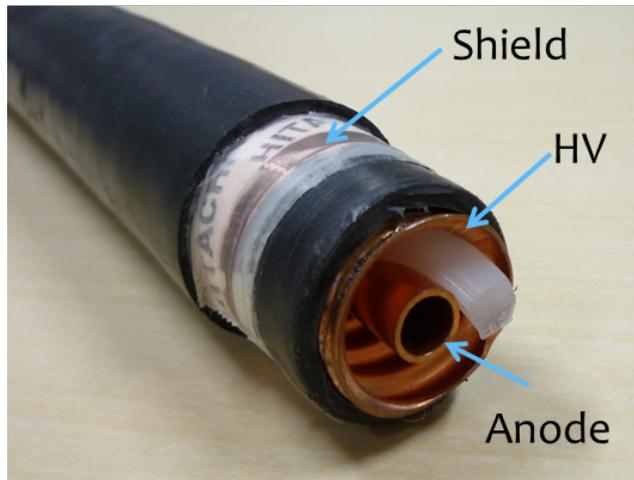
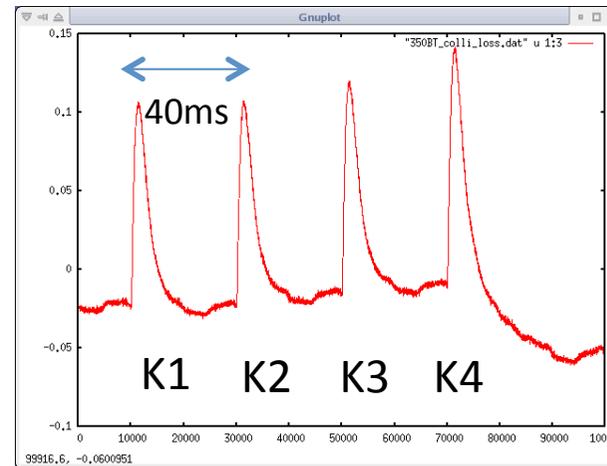
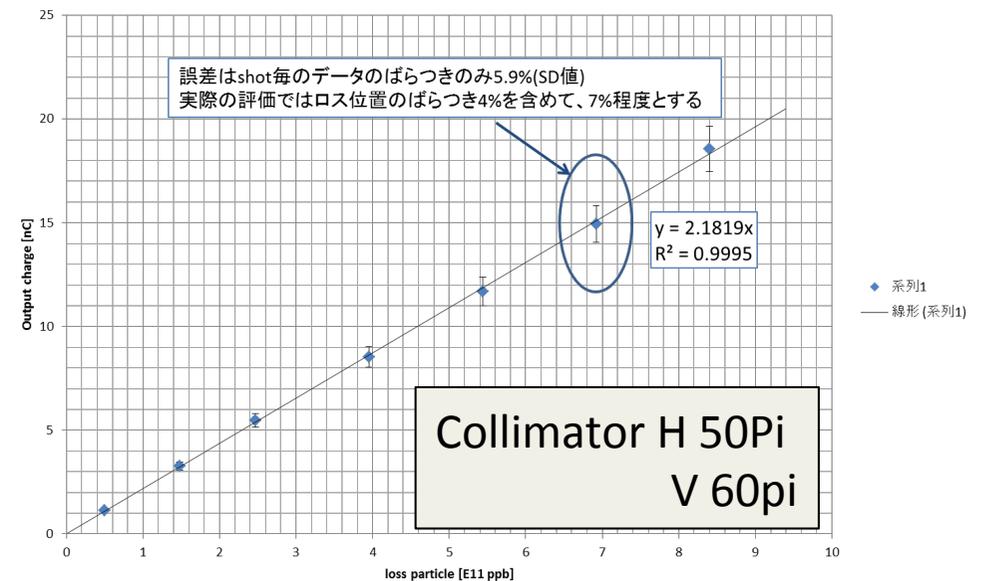


Photo of inside electrodes of AIC



Long AIC #007-019 校正結果 (Collimator 6に当てる) : Run40

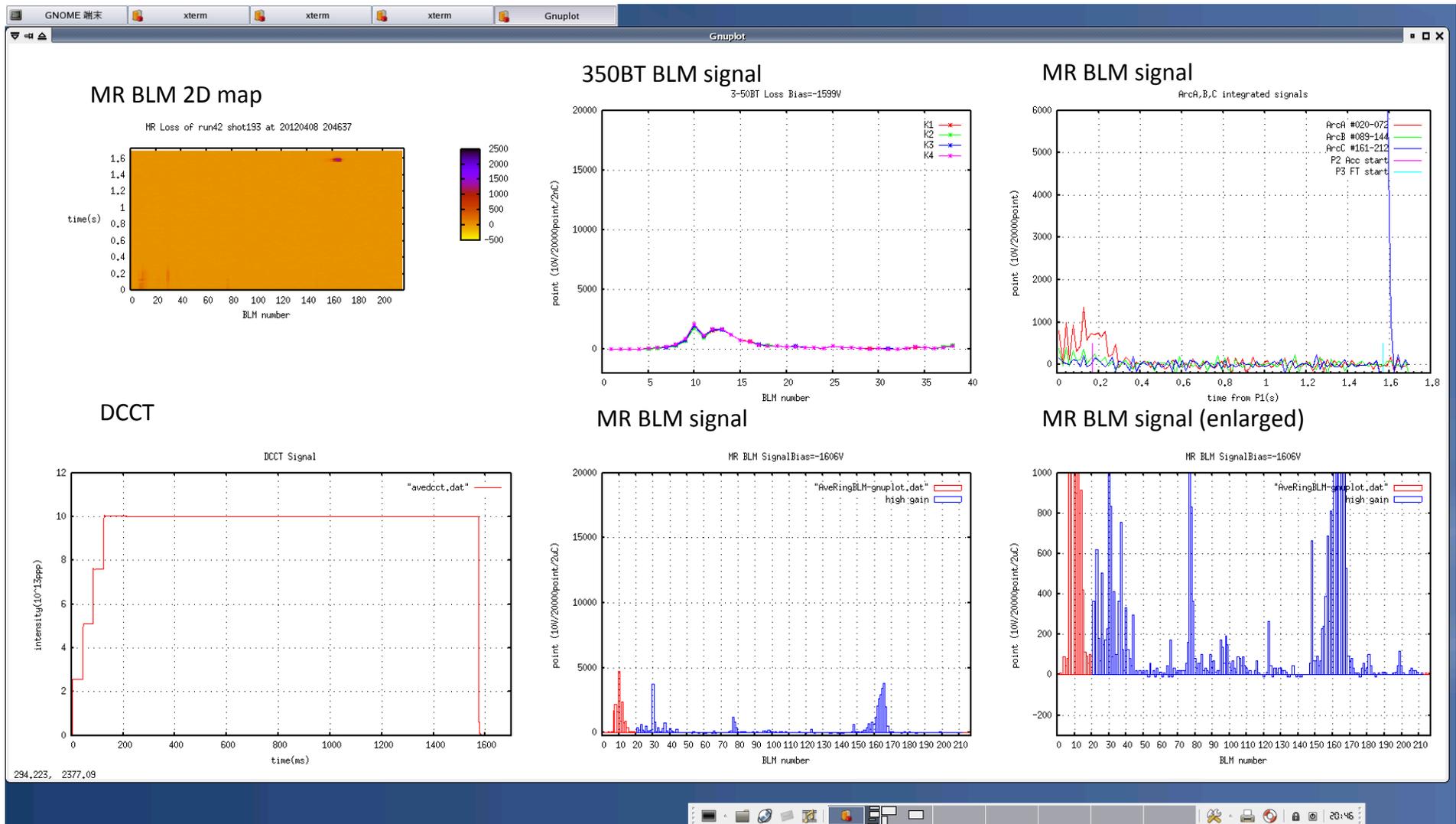


## AIC

- Gain=1
- Gas -> Air
- Applicable to high level beam loss event
- f Respose is limited <  $\sim$  kHz (dep. on cable length)
- Can not measure residual dose

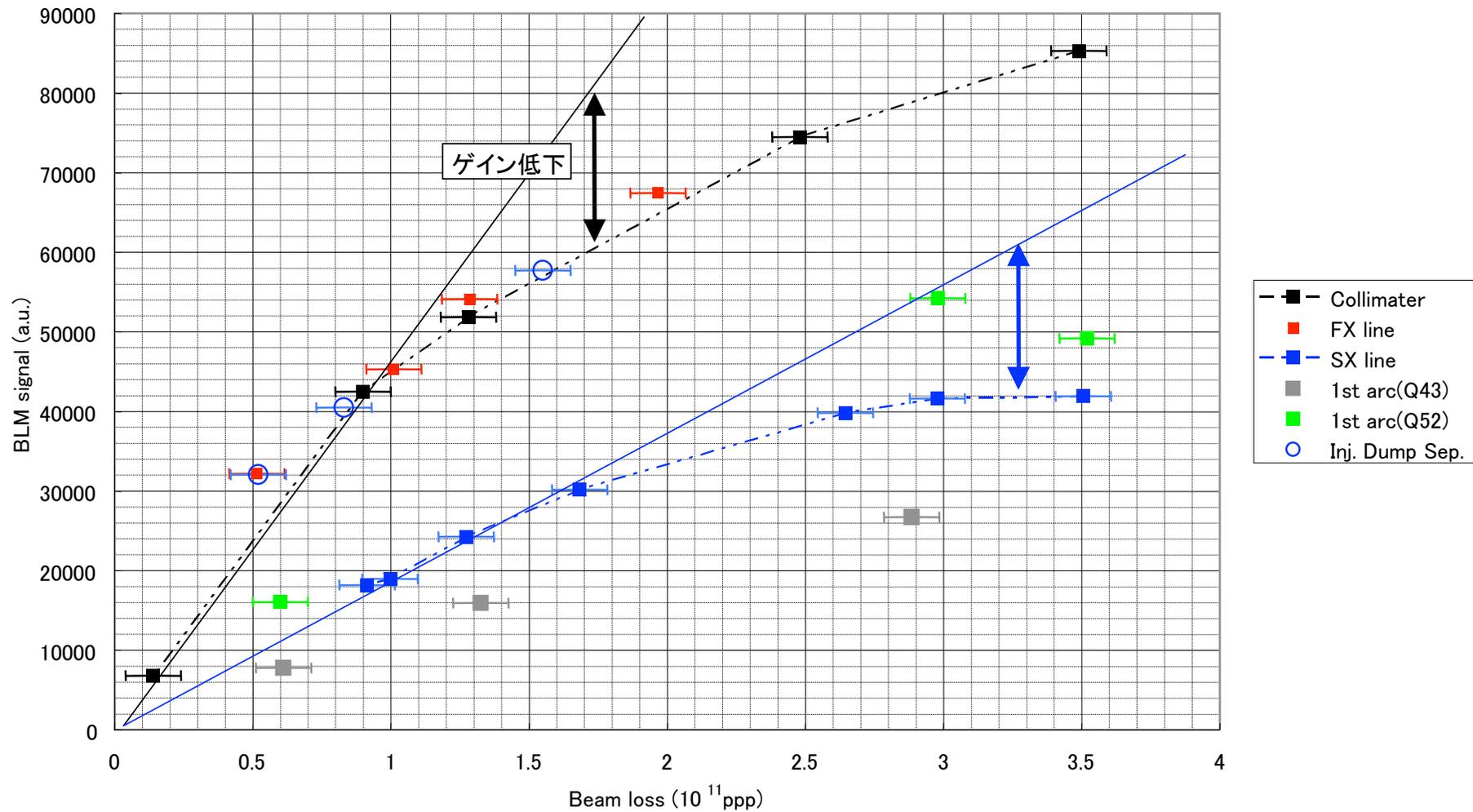


# BLM Display



# MR P-BLM

## Calibration example

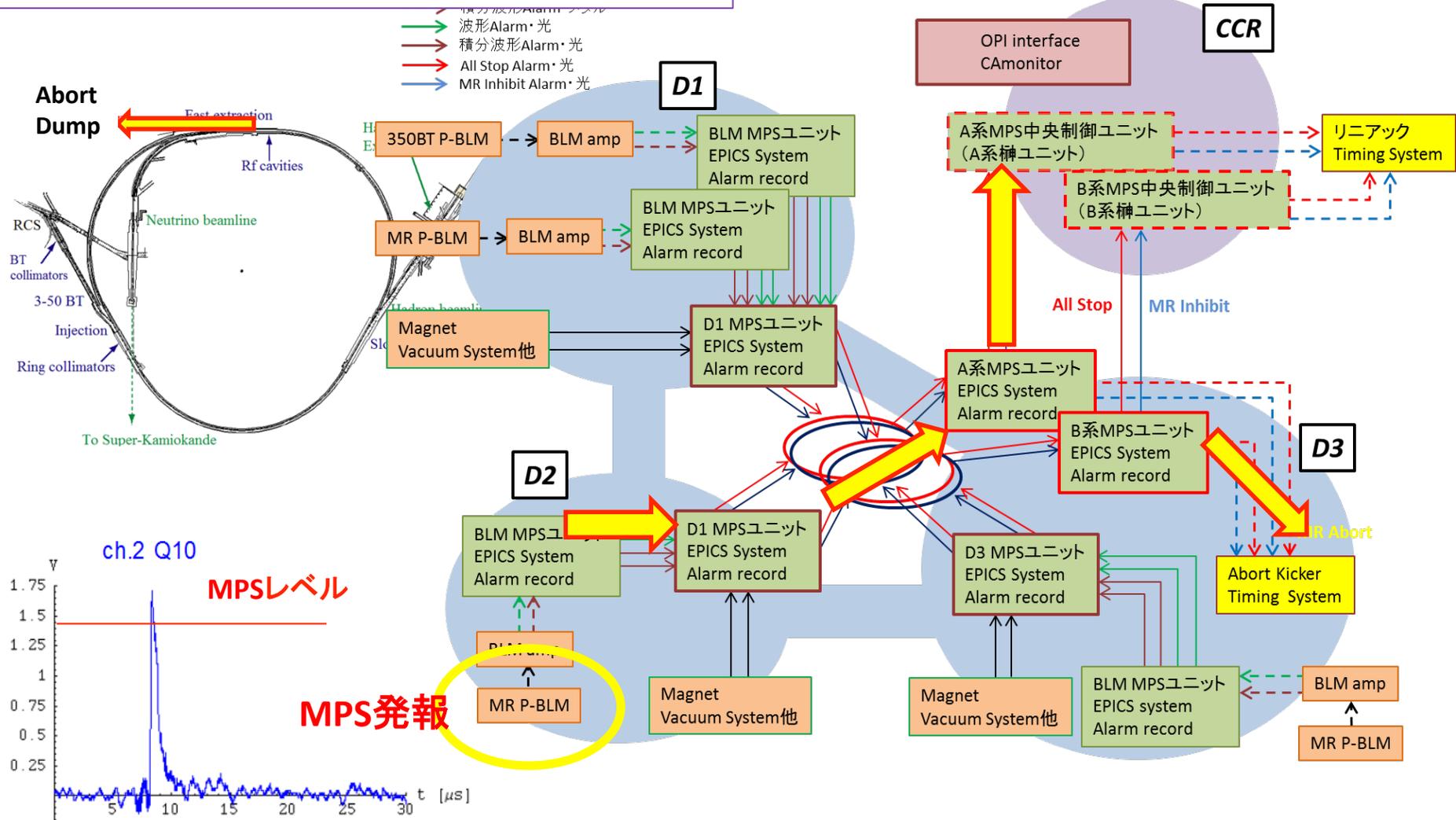


ビームロスする場所により感度係数がまちまち  
BLM出力強度から正確なビームロス量を知ることは困難

# MPS signal flow chart

**P-BLM output signal provides an interlock trigger to MPS**  
**When MPS on, a beam goes to Abort dump**

## MPS信号の流れ



Other applications

# Residual dose measurement after beam operation using P-BLM

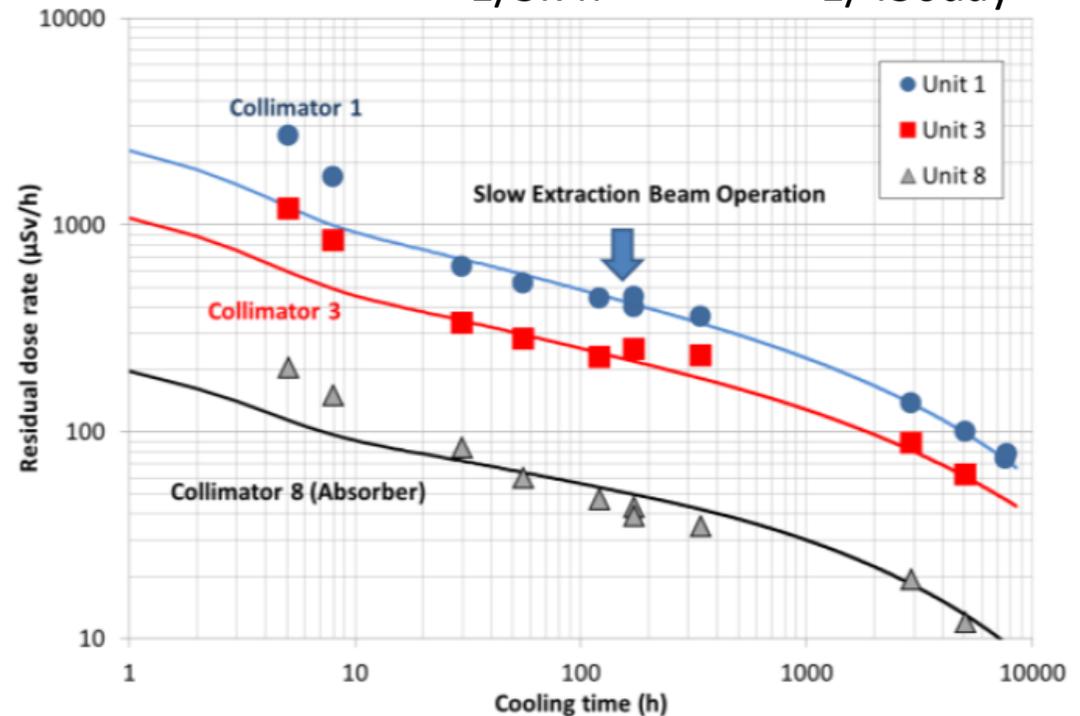
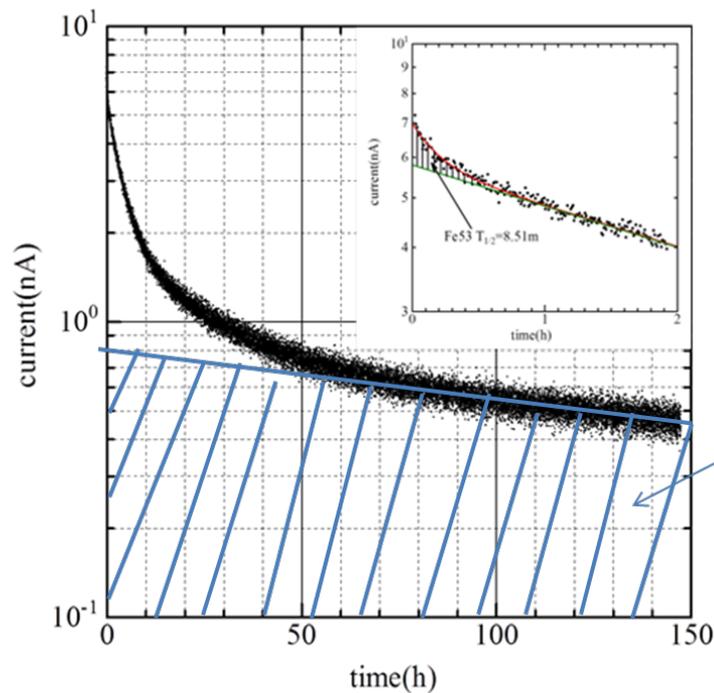
Fitting function of residual dose from Collimator unit

$$D(T, t) = B\phi \{ \log(T/t + 1) + \alpha e^{-\lambda_{Mn56}t} + \beta (1 - e^{-\lambda_{Mn54}T}) e^{-\lambda_{Mn54}t} \}$$

Sullivan-Overton formula:

1/3.7h

1/450day



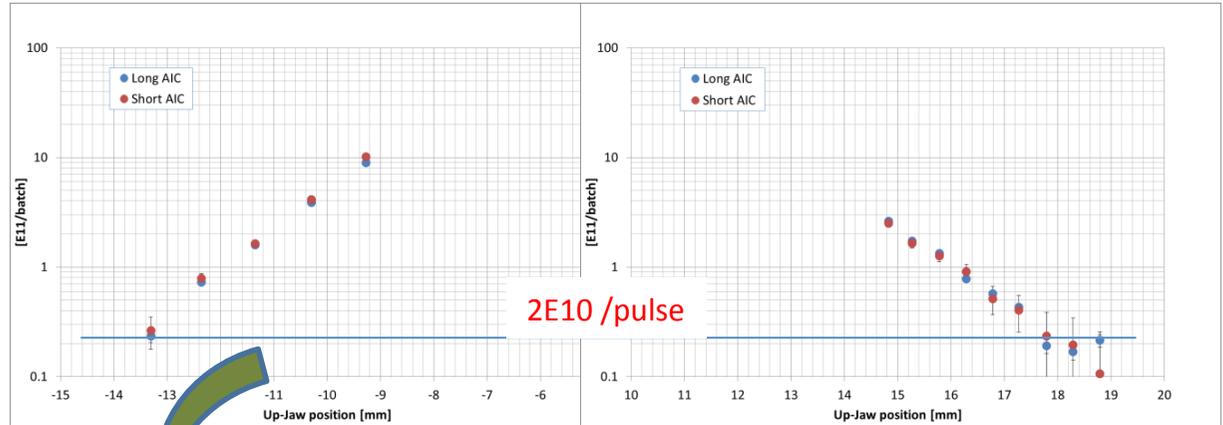
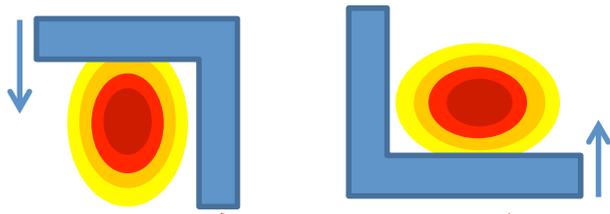
Dose from Mn56 is important to estimate the dose rate after beam stop but also long term activation.

Other applications

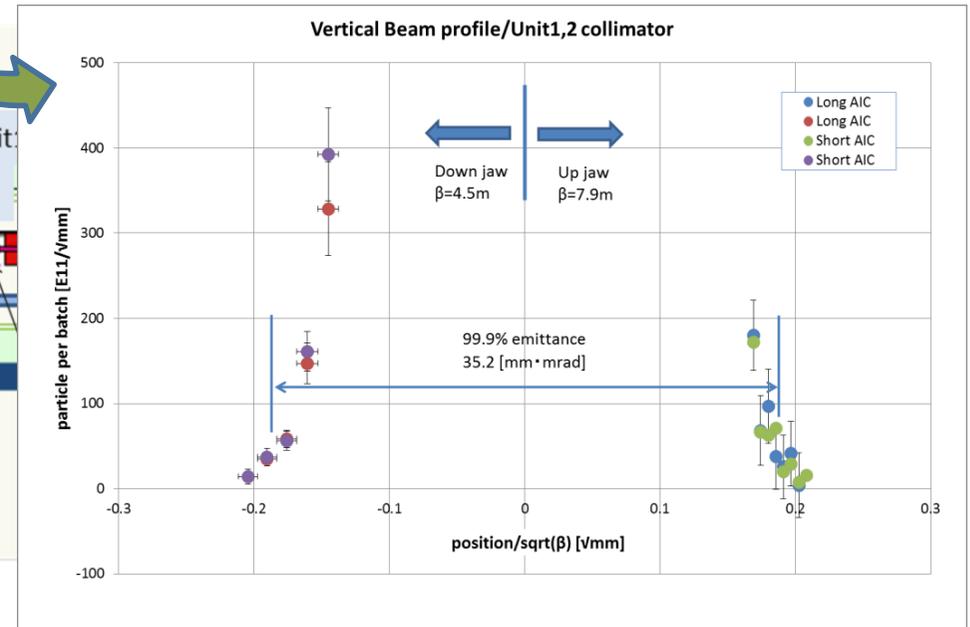
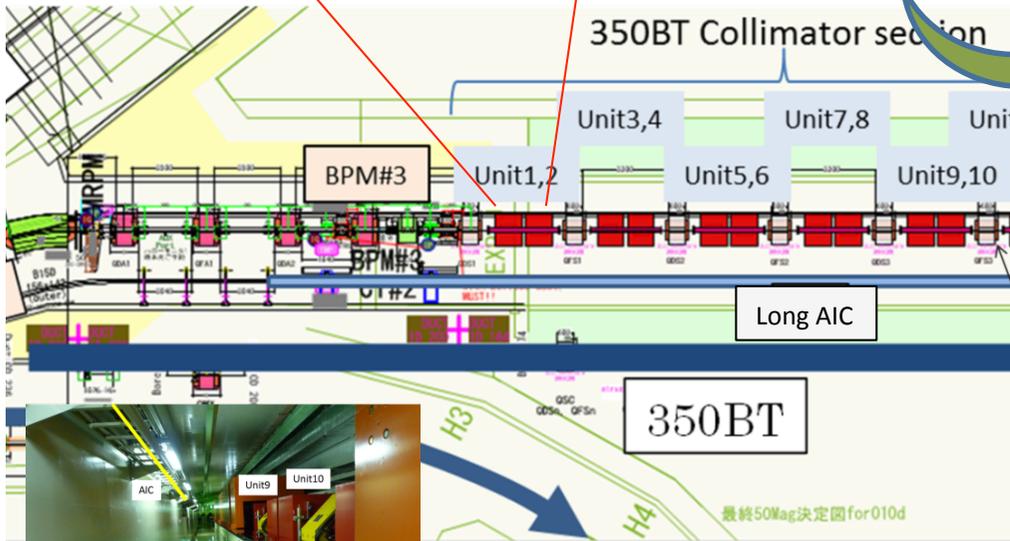
# Beam tail measurement at 350BT Collimator using AICs

定格ビームの4000分の1レベルまで測定可能

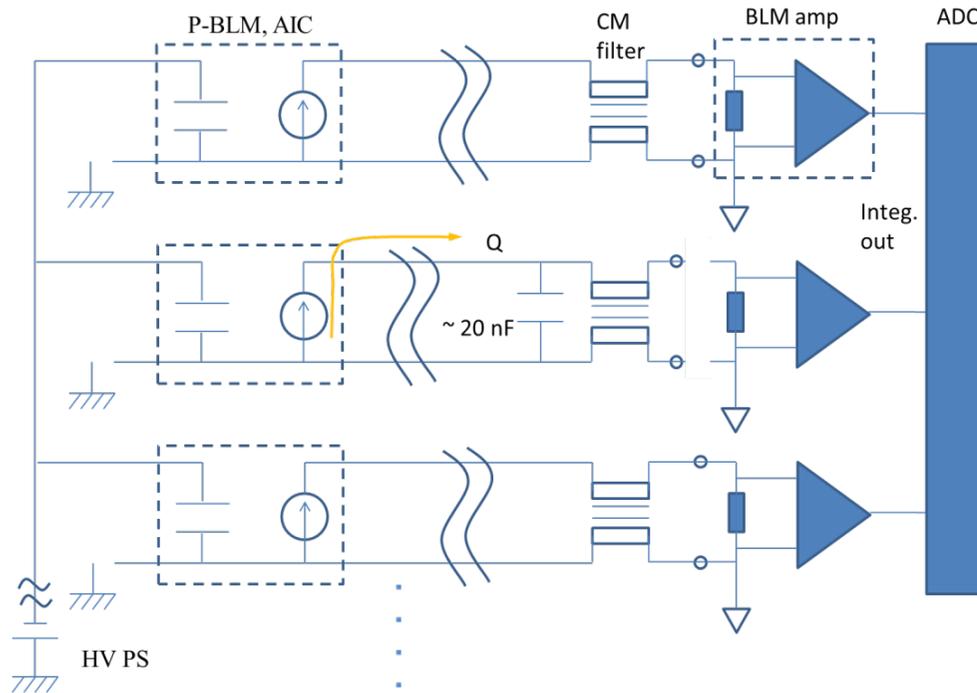
ビームテイルをL字型コリメータJawで削り、校正済みのLong AICでテイル部のビーム強度を同定する



Differentiation yields beam tail profile



# Existing system



- Issues on Amp box (12ch/box)
  - Large DC offset drift on op-amp temperature (Thus, room temp.)
  - Analog integral -> sensitive for DC offset drift
  - Large AC noise -> restricted performances on MPS
  - Does not do hot swapping -> Connection terminal is floating -> HV is applied to the cable shield
- Issues on ADC
  - Only 100 samples per interval.
  - Vertical sampling resolution: 20000points(min. resol.: 10points)/10V.
  - Only for integ. signal, no ADC chs for raw signal outputs.
  - Depending on a MPS trigger timing, data are cleared.



BLM amp



PLC based ADC

# BLM現状

- P-BLM
  - ヘッドにゲインがあるおかげで出力電流の調整ができ、広範なロス精度よく観測できる
  - 生信号に関してはアンプのノイズが大きく観測できていない
  - 出力が $1\mu\text{A}$ を超過するとアノード周りの負電荷シースの影響でゲイン変動が顕著になるが、その監視システムがない
- AIC
  - 信号の立ち上がりが遅い
  - 使用範囲内では有意なサチレーションがない
  - ただし専用のアンプがない
- アンプ
  - 生信号に盛大なノイズ 数 $10\sim 100\text{mVpp}@G=10$
  - $Z_{in}=10\text{k}\Omega$ により帯域は $1\text{kHz}$ 程度でかつケーブル長に依存
  - 電流モード測定はあまり考慮されていない
  - 積分信号に温度ドリフト⇒当初の設計思想から外れた使用
- MPS
  - 生信号による高速動作はP-BLMのサチレーションの問題により不正確
  - MPSシステムの要件である $10\text{kHz}$ の動作はできていない

New BLM system

# BLMへの要求

## ビーム挙動の観測

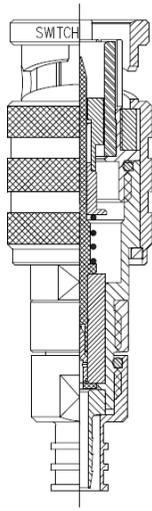
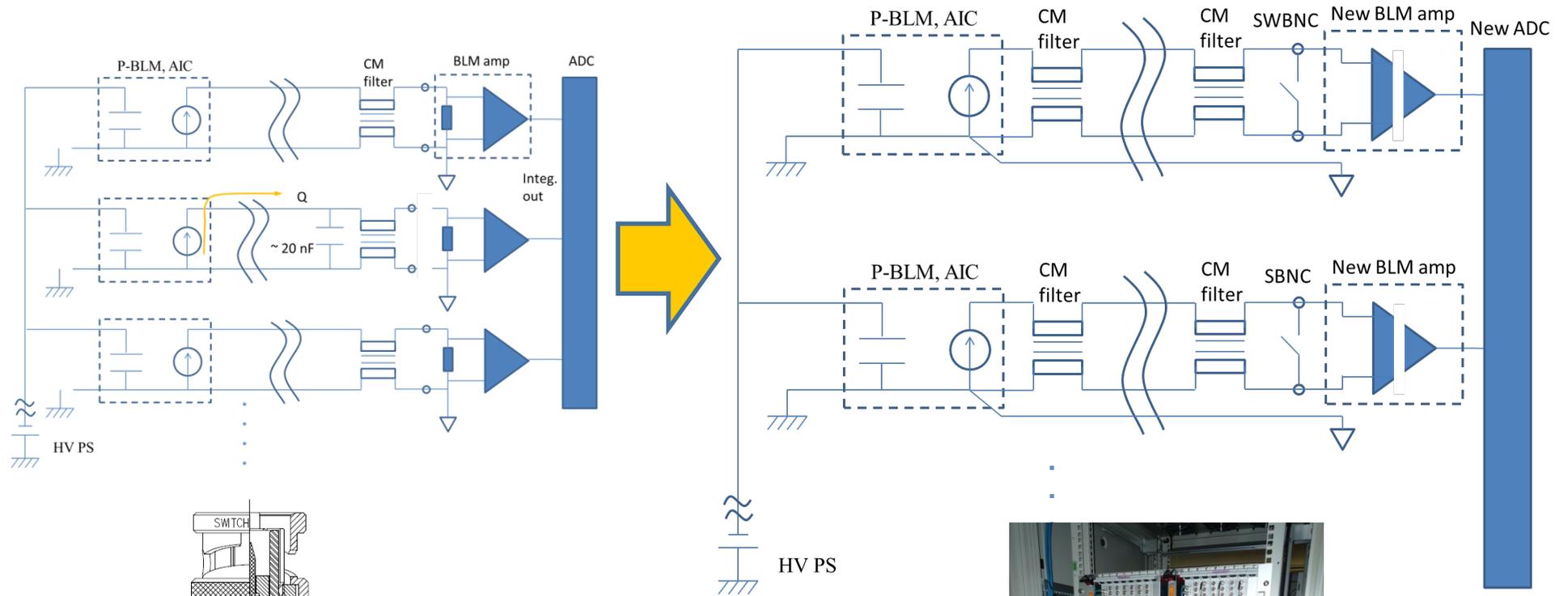
- 縦方向の運動
  - シンクロトロン振動最大値360Hz(将来は784Hz)
    - Dispersion pointでの観測
- 横方向の運動
  - 入・出射エラー
    - ターン×ターン 200kHz
    - バンチ×バンチ 2MHz
  - 入・出射部、コリメータ部での観測
  - ベータトロン振動 200kHz
  - コリメータ、セプタムなどapertureの狭いところでの観測
- e-pインスタビリティー観測
  - シンクロトロン振動の50～100倍程度必要
  - 現状:  $360\text{Hz} @ \text{Max.} \times (50 \sim 100) = 18\text{kHz} \sim 36\text{kHz}$
  - 将来:  $784\text{Hz} @ \text{Max.} \times (50 \sim 100) = 39\text{kHz} \sim 78\text{kHz}$
  - コリメータ、セプタムなどapertureの狭いところでの観測
- 残留線量測定
  - DC～1Hz
    - リング全周での測定
- バンチ内振動によるビームロスの観測
  - 数百MHz～GHz帯域

※青文字がp-BLMおよびAICで測定  
それ以外は高速動作のヘッドが必要

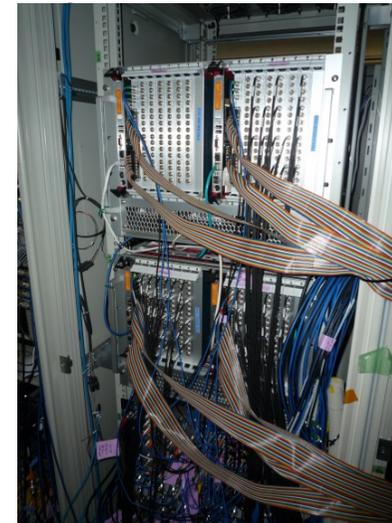
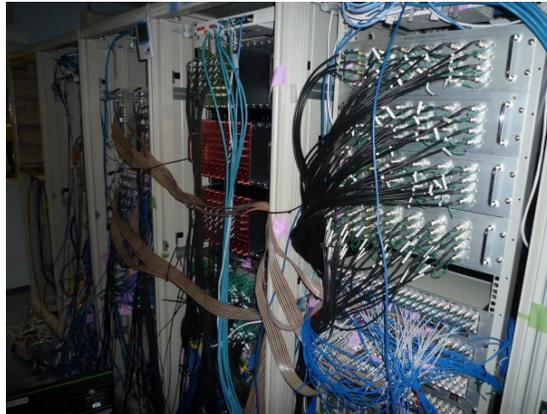
周波数特性  
100kHz以上

MPSシステム  
動作速度  
10kHz

# New system



SWBNC



Installation works are going now

# Dual BLM (P-BLM and AIC) system

## The essences of the upgrade plan

### *New requirements*

The **residual dose measurements** after beam stop in addition to the conventional beam loss measurements.

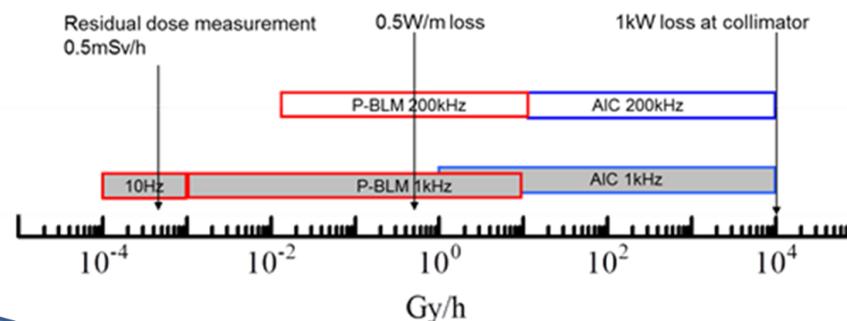
The required **dynamic range is higher than 1E6** to cover 1kW fast beam loss at collimator area to residual dose measurements.

The needed frequency band is **from DC up to about 200kHz** which is correspond to revolution frequency.

**More higher frequency band** is needed to study **intra bunch oscillation**.

### *The essences of the upgrade plan*

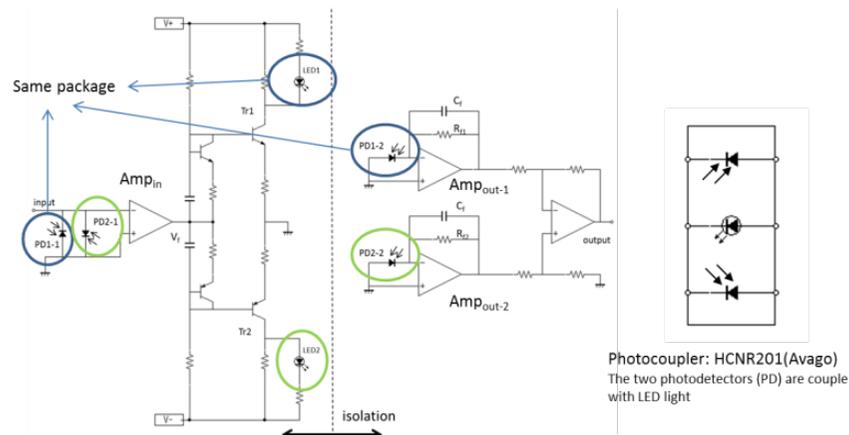
- Extensively enhance the **dynamic range**
- **1m long AIC (short AIC) and P-BLM double system**
- More **higher frequency band**
- **Scintillator and photomultiplier tube type BLM (S-BLM)**



The dynamic range using the both P-BLM and short-AIC. Gas gain of P-BLM is set as 1E3. Open boxes show the dynamic range of the raw signal and the gray boxes show that of integrated signal. The frequency bands of the data are also shown.

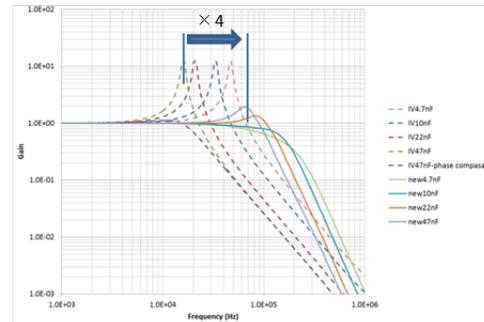
# New front end isolation amp

## New Isolation Amp: Basic Circuit and Performances

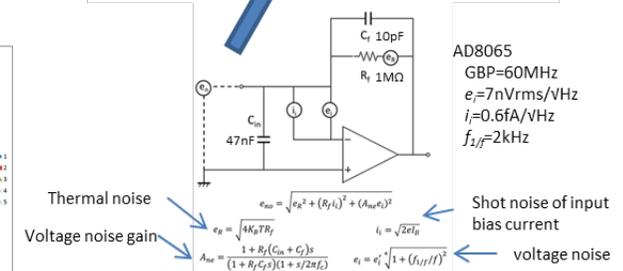
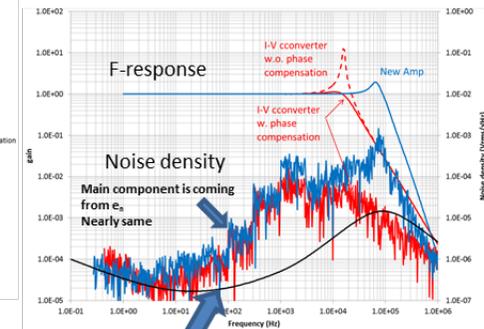
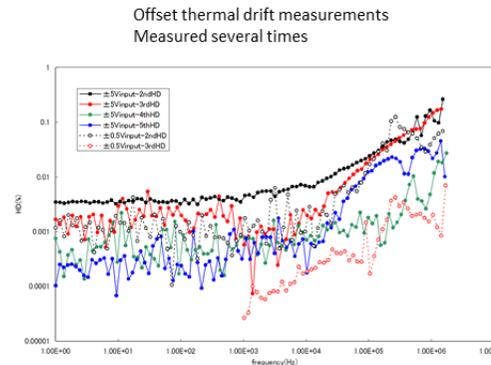
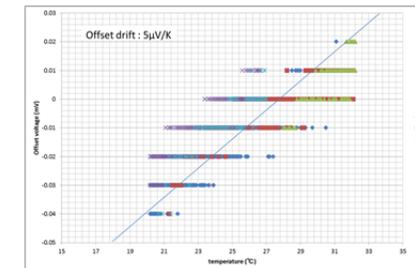


At  $\Delta t$  step interval

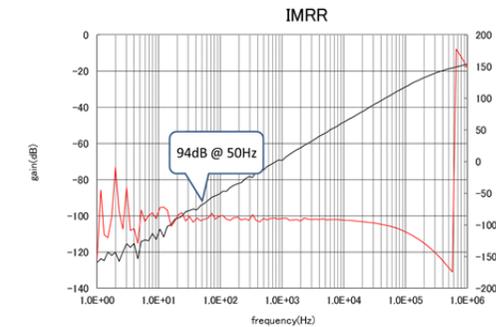
- 1, Current flow  $I_{in}$ , Charge injection  $\Delta Q = I_{in} \Delta t \Rightarrow$  Input terminal voltage then  $\Delta V_{in} = \Delta Q / C_{in}$  where  $C_{in}$  is input capacitance
- 2,  $V_i$  then becomes  $\Delta V_i = \Delta V \times A_{ol}$ , here the  $A_{ol}$  is open loop gain of  $Amp_{in}$
- 3,  $V_i$  and  $Tr1$ , and  $Tr2$  control LED1, and LED2 current to decrease  $\Delta V_{in}$  as  $I_{in} = I_{PD1-1} - I_{PD2-1}$
- 4, The LED light produces photodetector currents as  $I_{PD1-1} \hat{=} I_{PD1-2}$ ,  $I_{PD2-1} \hat{=} I_{PD2-2}$
- 5, The normal trans-impedance amp and following differential amp converts as  $V_{out} = R_f (I_{PD1-2} - I_{PD2-2}) \propto I_{in}$



Frequency response of normal I-V and new amp.  
The response of the new amp is about 4 times faster.

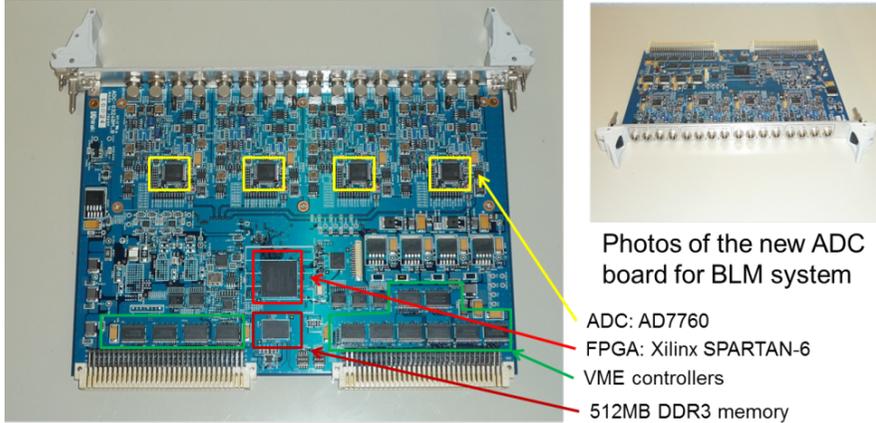


Noise density profile for the new amp is now under investigation



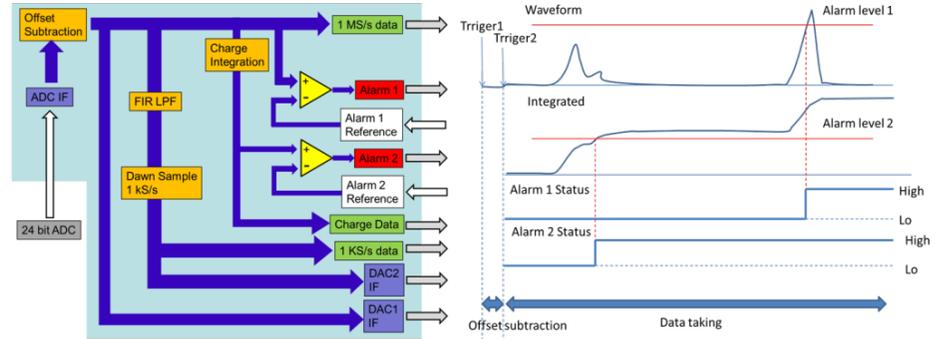
Isolation mode rejection rate measurement  
IMRR=94dB @ 50Hz

# New ADC board



Photos of the new ADC board for BLM system

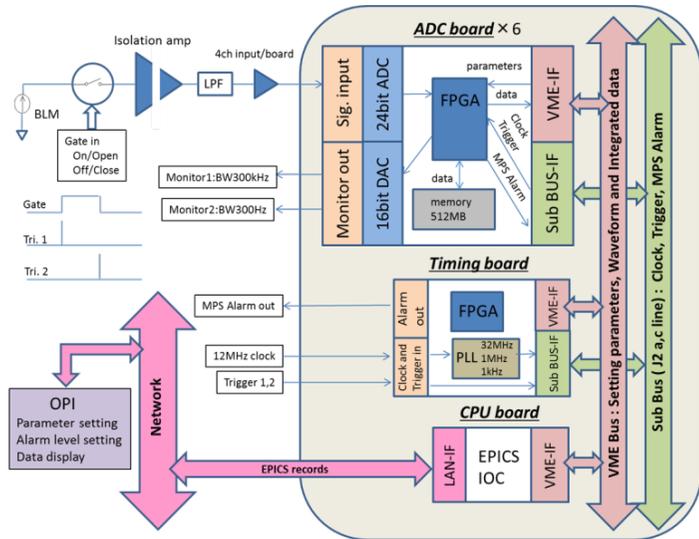
- ADC: AD7760
- FPGA: Xilinx SPARTAN-6
- VME controllers
- 512MB DDR3 memory



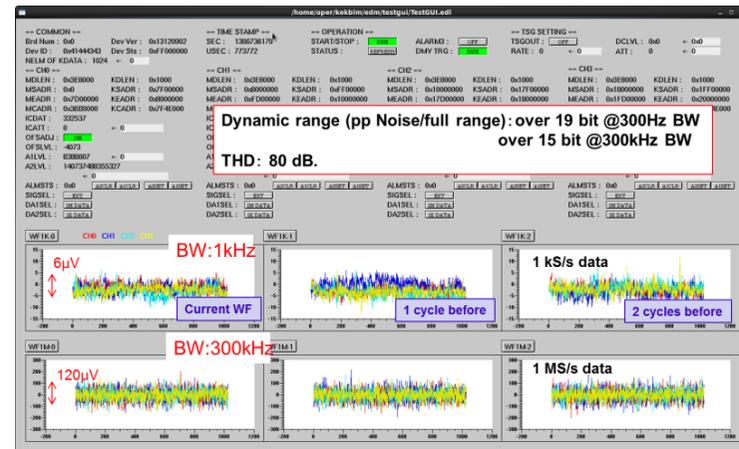
The block diagram and the schematic drawing of the signal processing in the FPGA.

## Offset subtraction procedure

- 1, The switch in front of the front-end amp open after trigger 1 (Gate goes to high)
- 2, Offset due to front-end amp is calculated during trigger 1 ~ trigger 2
- 3, After trigger 2 the estimated offset is subtracted, and the switch is short
- 4, The signal during trigger 2 ~ K1 (first beam injection timing) shows current induced by the residual dose that should be extracted from the real beam loss signals.



Block diagram of the new data taking system



EPICS OPI for ADC test

A 512 MB DDR 3 memory on an ADC board can store 18 sec data  
The data is updated at each MR cycle like a ring buffer.

# まとめ

- 現在比例計数管によるBLMシステムを主に運用している
- 初期にはそのガスゲインの有効性を利用し、低レベルロスを感度良く観測し、さらに残留線量の測定も実施している
- 加速器調整が進むとともに出力電流の増大によるゲイン変動が問題となってきた
- 新BLMのために、新アンプ、ADCの開発を進めており、今秋にインストールが完了する予定である
- P-BLMとAICを一体として運用することにより、ダイナミックレンジ120dB以上が期待できる⇒各機器単体のパフォーマンスは到達している⇒組み合わせパフォーマンスは今秋より確認