

# 散乱体設置によるJ-PARC主リング でのビームロス局所化の増強計画

佐藤洋一、橋本義徳、栗本佳典、白形政司、魚田雅彦

J-PARC / KEK

WEOL03, 2017/08/02 09:30-09:50

加速器学会2017@北海道大学

# 目次

- J-PARC MR FX紹介
- 現コリメータシステムの大強度化に向けた課題
- 新コリメータシステム検討用の散乱体試験機
- ビーム試験結果
- ビームシミュレーション
- その他の検討事項
- まとめ

# J-PARC MR

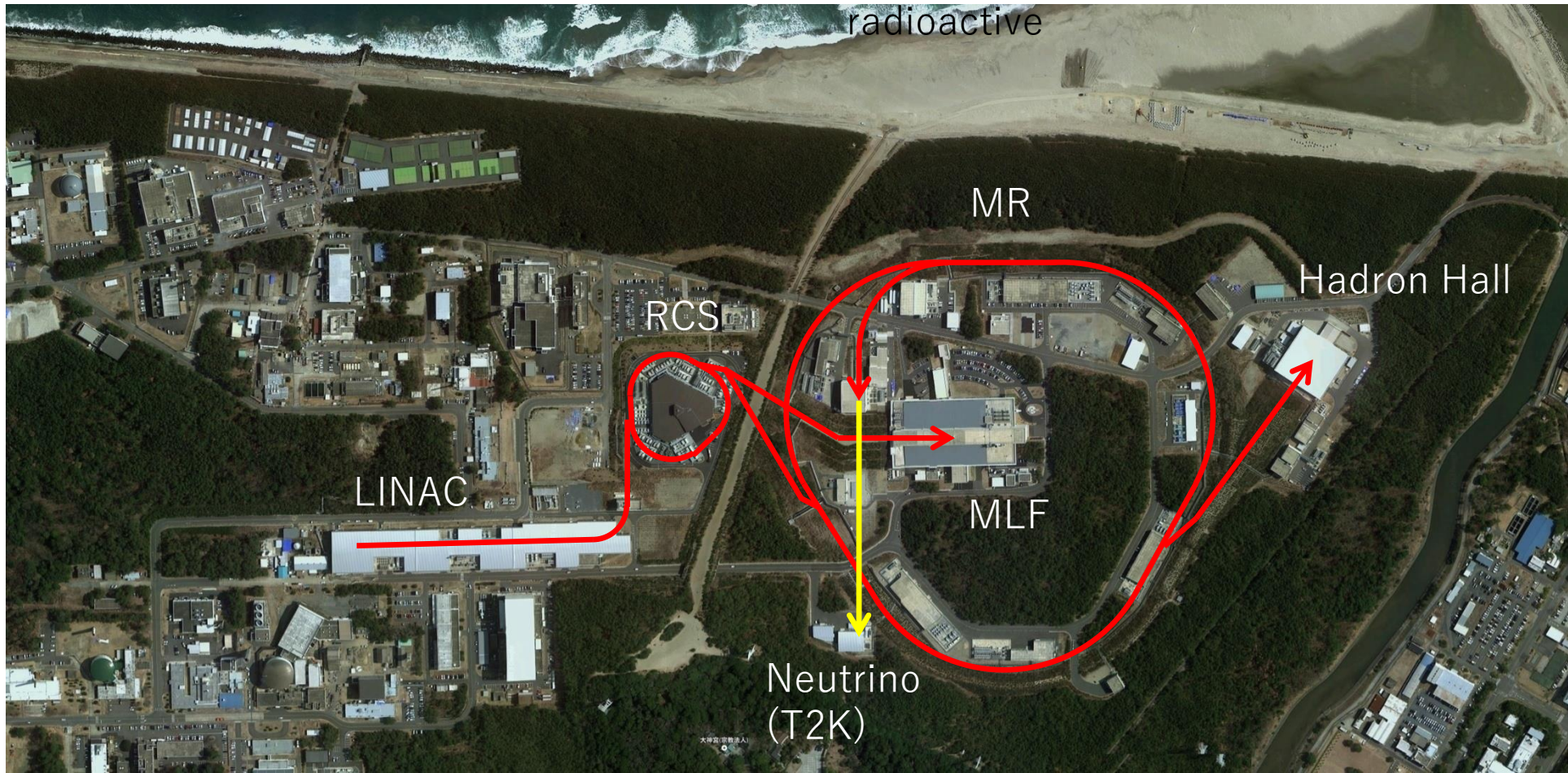
- Circumference 1567.5 m
- Three-fold symmetry
- Imaginary Transition  $\gamma$  lattice
- Injection Energy 3GeV
- Extraction Energy 30 GeV

Beam Power

750 kW (Design), 470 kW (present)

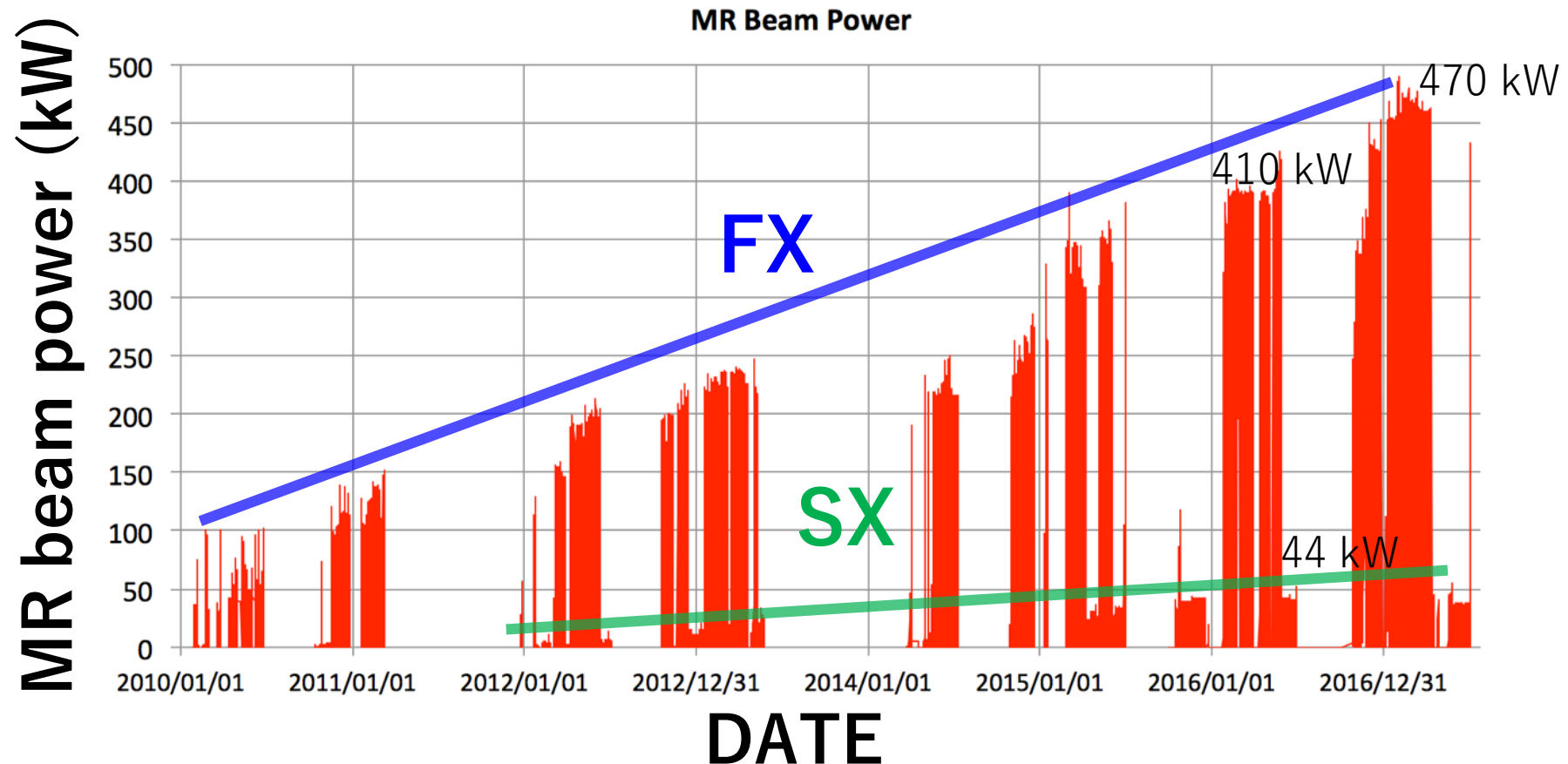
Keys:

Beam Loss Localization, less radioactive

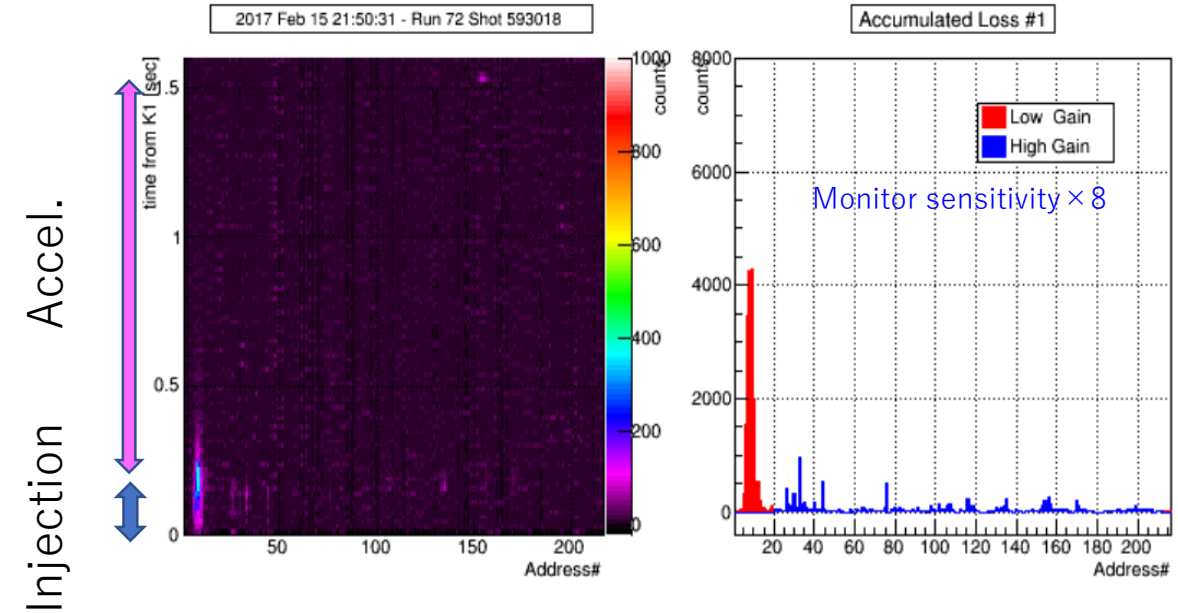
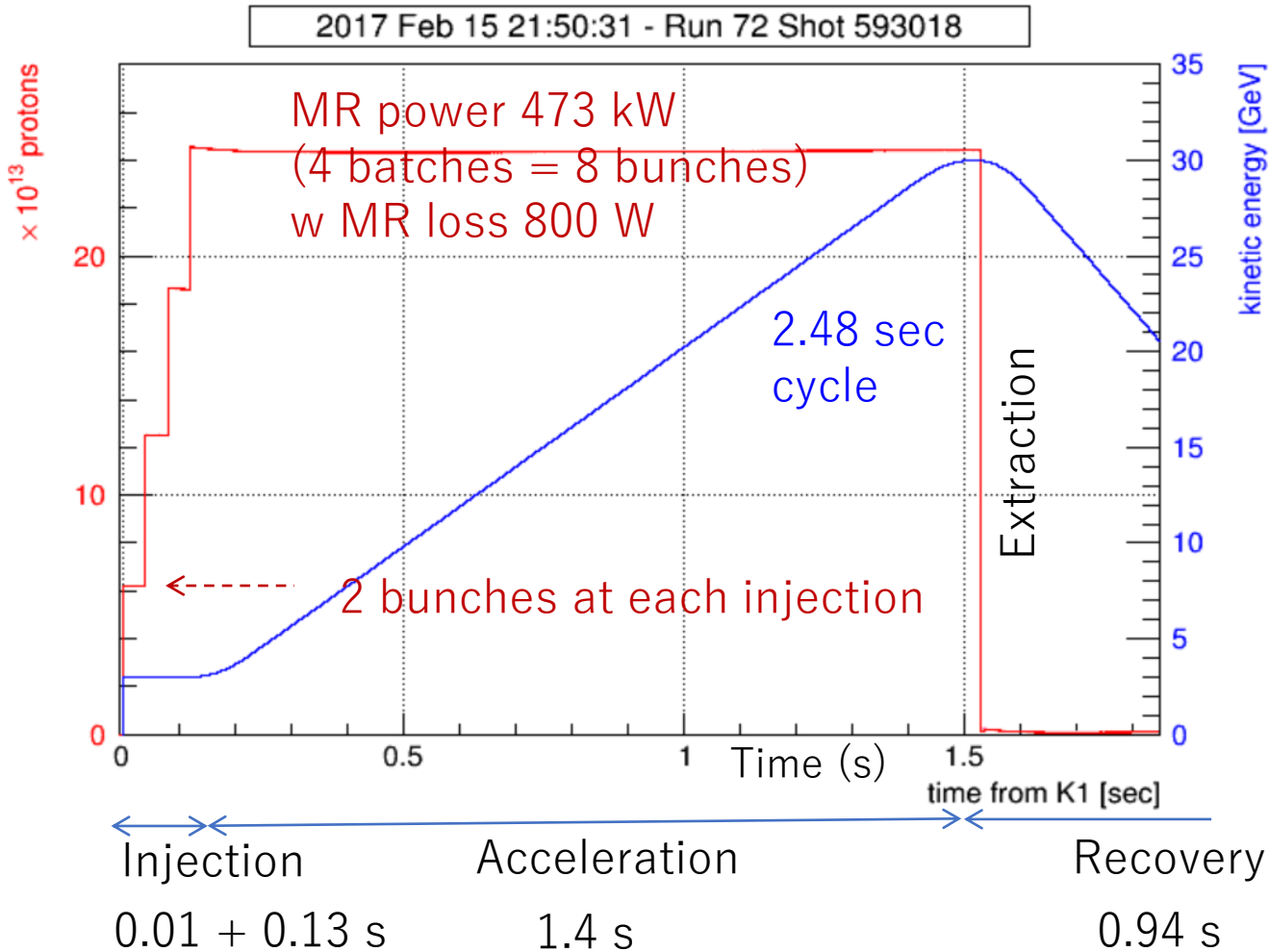


# Beam power history of MR

- Fast extraction  
MR beam power to T2K: 470 kW (2.4e14 ppp) in one year.  
510 kW demonstration
- Slow extraction ~44 kW (5.1e13 ppp)



# Typical Operation Status for Fast Extraction

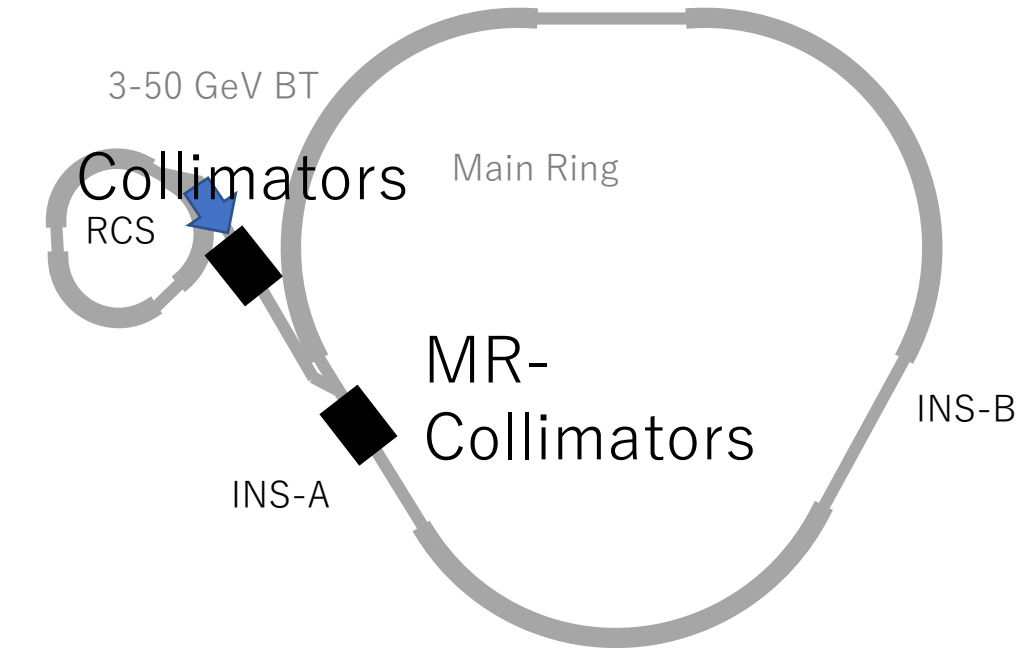


Most of non-COL area:  
One foot < 300  $\mu$ Sv/h  
(4H after operation)  
On contact < 2 mSv/h  
(6H after operation)

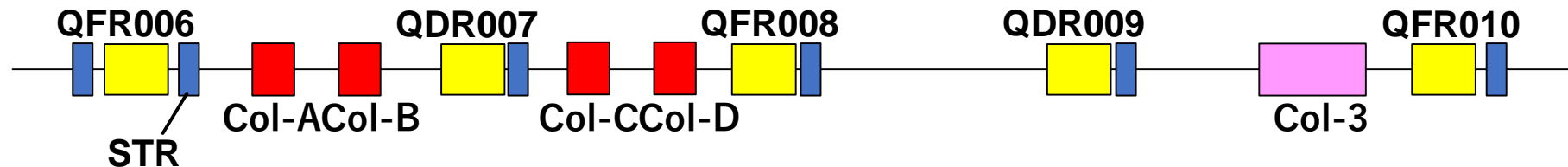
放射線対策強化区域（コリメータエリア）へのロス・残留線量の局所化により、MR全周のメンテナンス性を維持している

# 現コリメータシステム

入射直線部下流を放射線対策強化区域（コリメータエリア）とし、コリメータ群を設置してビームロスを局所化させることで、区域外の機器の放射化を抑制している。  
各コリメータは厚いタングステンjawブロックでビームハローを捕獲しているが、その際生じる散乱粒子もコリメータエリア内で回収する必要がある。



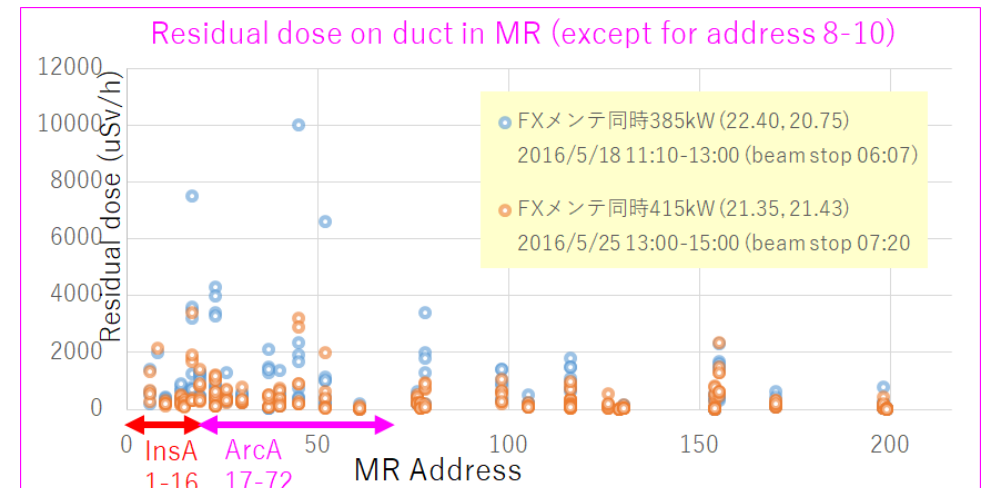
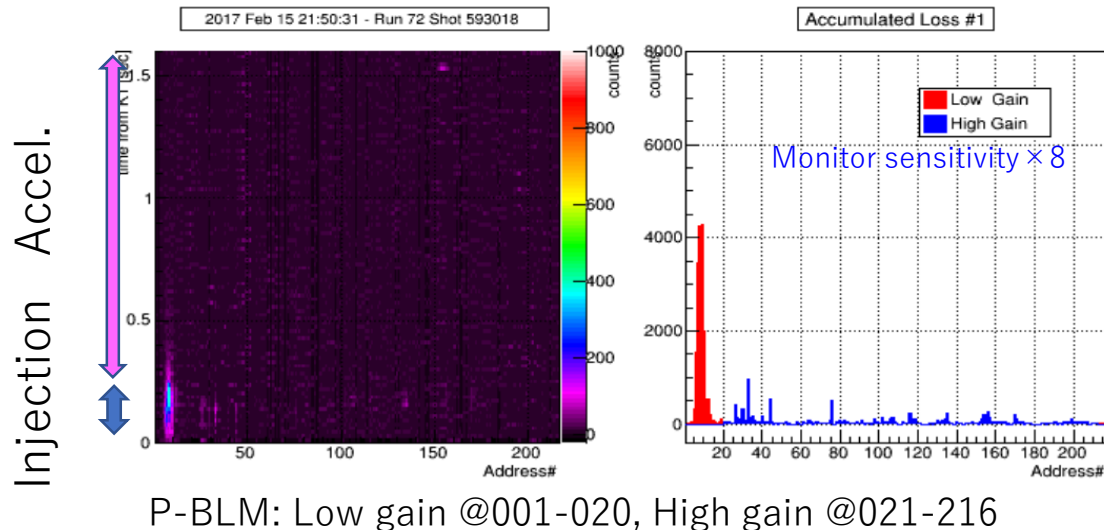
入射直線部下流にある  
5つのコリメータ群を運用。  
各コリメータは500 Wの容量を持つ。  
なお、MR直線部は全てDispersion free。



# 現コリメータシステムの大強度化への課題（1）

MR大強度運転の鍵は、各コリメータのロス容量を均等に利用しながら、**ビームロスをコリメーターエリアに局所化することである。**

しかし、コリメーターエリアを超えてInsA, ArcAにホットスポットがあり、**> 1MWを目指すにはコリメーターシステムの増強が重要となる。**

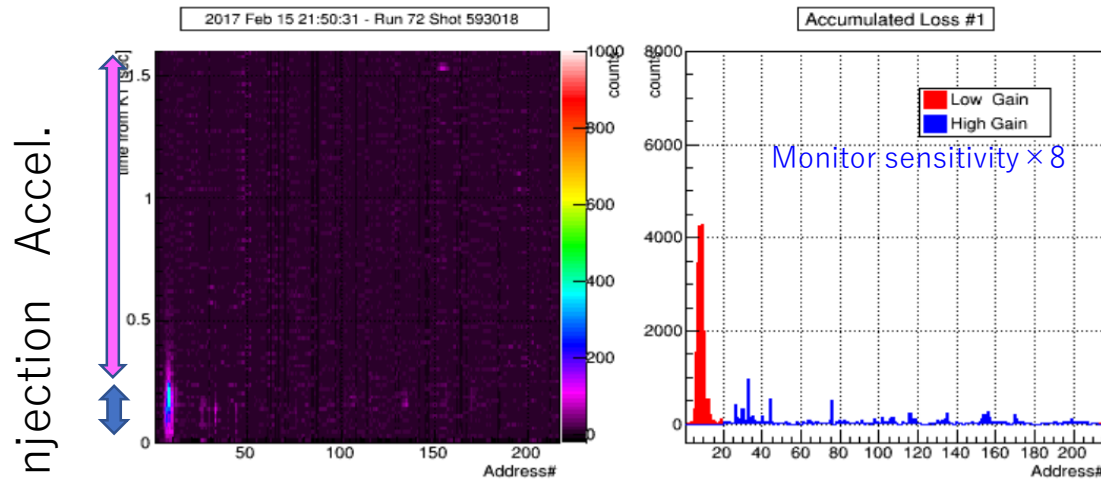


**散乱機能とカット・吸収機能が未分化のため、最適化調整が難しい**  
**散乱粒子の運動量シフトが大きい（予測）ため、ArcAのロスが不可避**

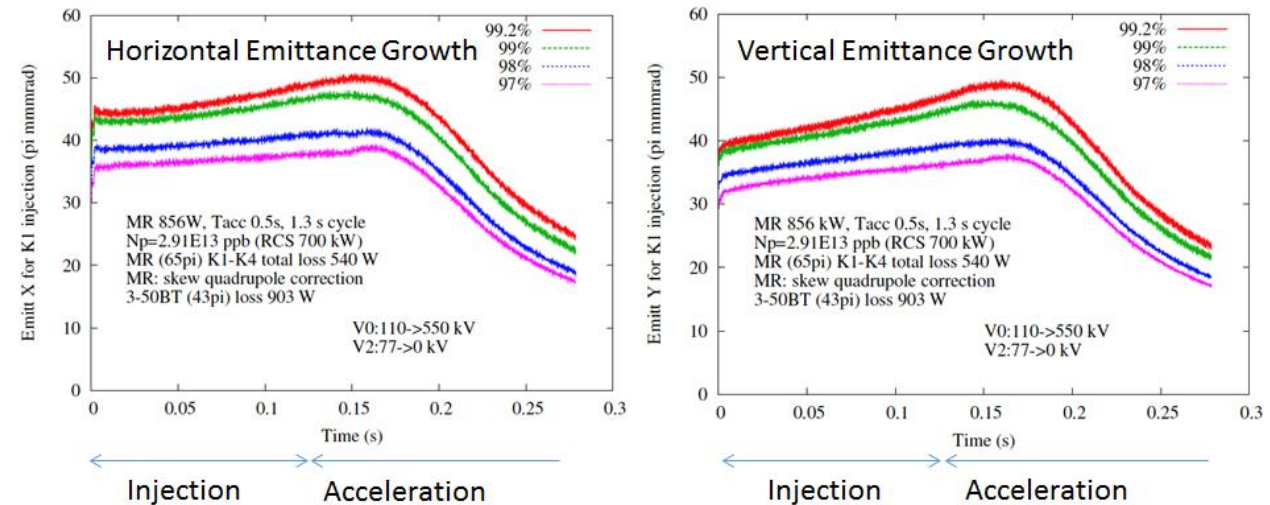
# 現コリメータシステムの大強度化への課題（2）

現コリメータシステム = **One-pathコリメータ** の設計思想：

入射直後の大Emittanceのハロー粒子をカットしそのまま吸収。殆どのカット粒子はJawを掠る散乱がないことが前提。



P-BLM: Low gain @001-020, High gain @021-216



MR 450 kW eq. (Y. Sato SCTR Simulation)

しかし、**実運転ではビームハローのEmittanceは周回の中で徐々に増大し、多くのカット粒子はJaw際を掠め散乱される。**

**Jaw位置の最適化には、吸収機能だけでなく、散乱機能も付随した調整が必要。**



# 現コリメータシステムの大強度化への課題（3）

実運転ではビームハローのEmittanceは周回の中で徐々に増大し、多くのカット粒子はJaw際を掠め散乱される。

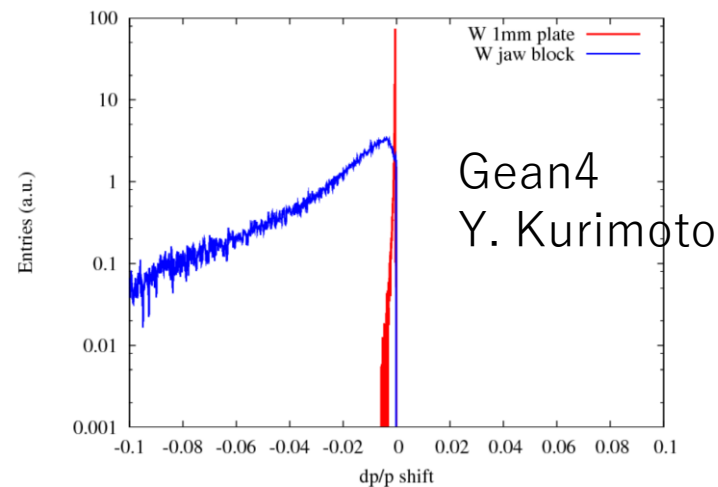
散乱した陽子の多くは、厚みをもったJaw際を掠めるため、運動量下がりが大きく、MRアクセプタンスを超えるとシミュレーションされる。

→ 多くの散乱粒子がArcAでロスすることになる。

→ 散乱体がJawではなく、**薄板であれば運動量下がり**は解消し、**直線部コリメータで散乱粒子が回収**されると期待できる。

Note:  
MR acceptance  
 $81\pi, |dp/p| = 1\%$

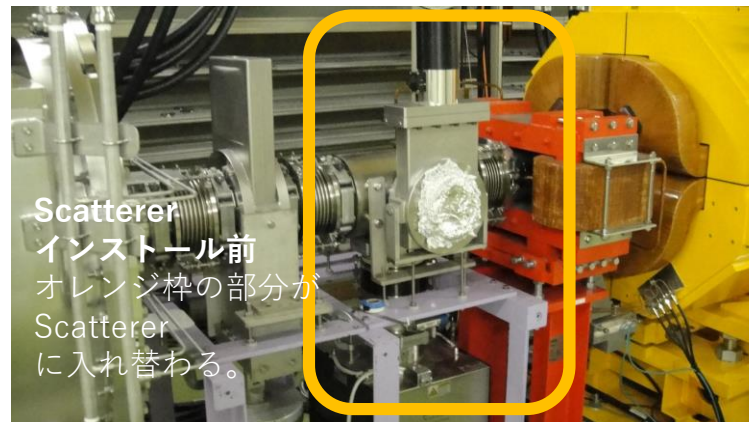
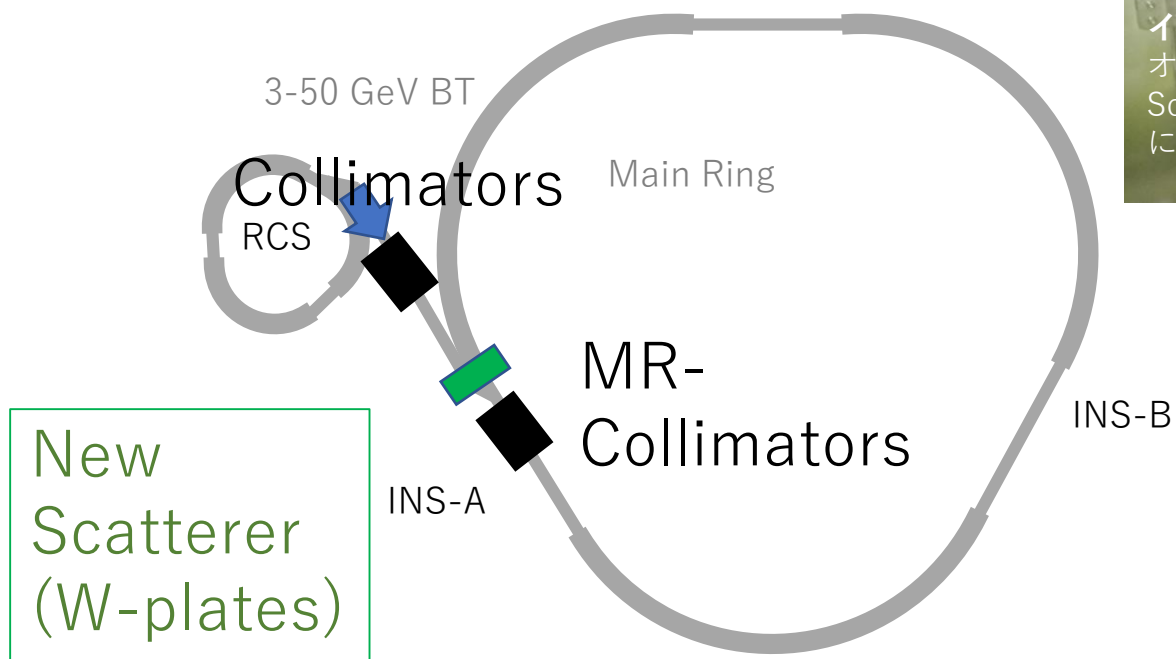
Dp/p shift  
after  
scattering  
@Col-B  
  
Dp/p: < 5 %



Dp/p shift  
after  
scattering  
@W-1mm plate  
  
Dp/p: < 0.2 %

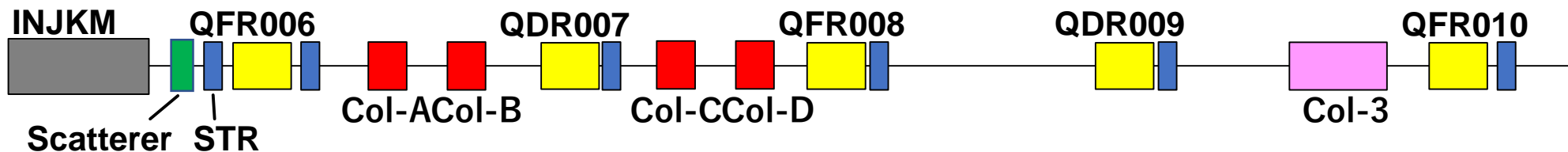
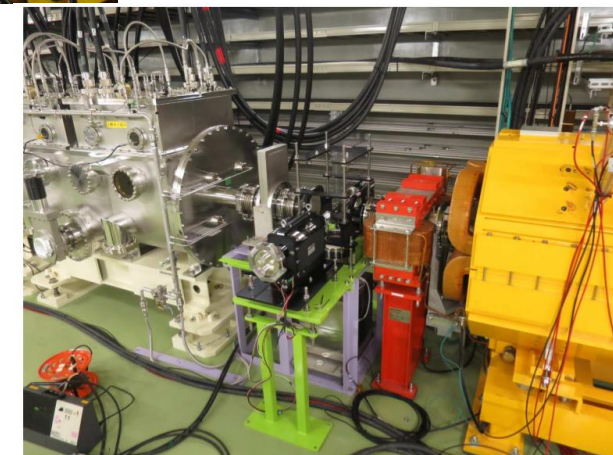
# 新コリメータシナリオ試験機

入射キッカーとコリメータエリアの間にタングステン 1mm厚の薄板を設置し、ビームハローに対する散乱体とする試験機を設置した。



取り合いが  
込み合っている  
貴重な直線部

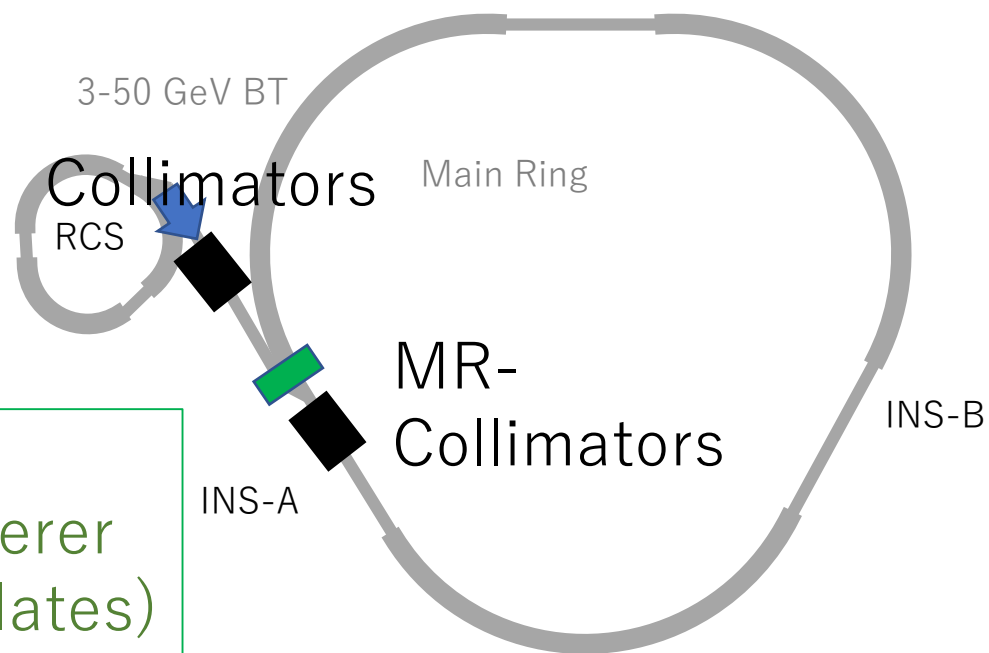
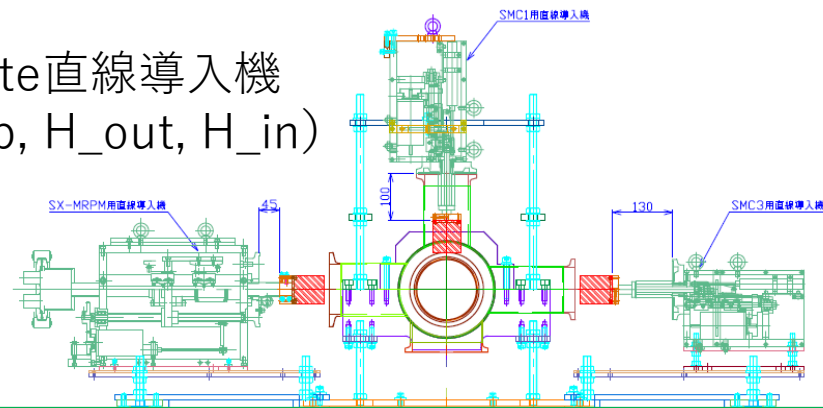
IP/粗排気ポート  
とエリアを共有  
して3方向W-plate  
直線導入機を設置



# 新コリメータシナリオ試験機

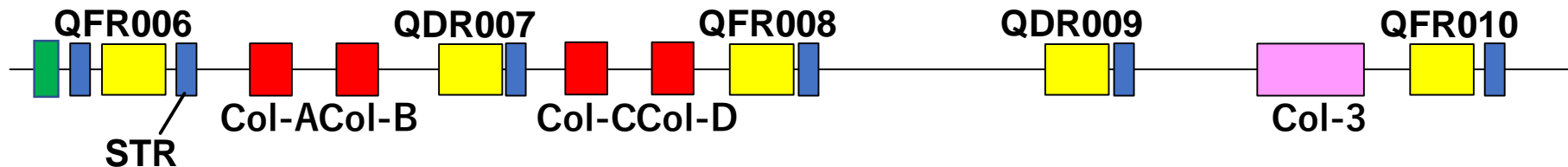
入射キッカーとコリメータエリアの間にタングステン 1mm厚の薄板を設置し、ビームハローに対する散乱体とする試験機を設置した。

W-1mm-plate直線導入機  
3方向 (V\_up, H\_out, H\_in)

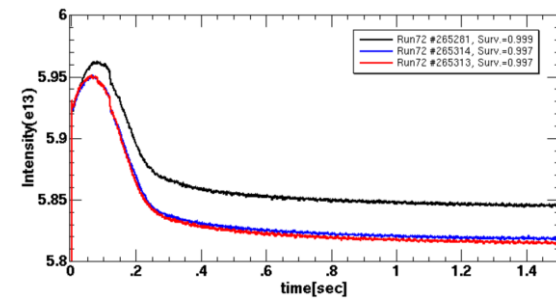


## New 3Direction-Scatterer試験機

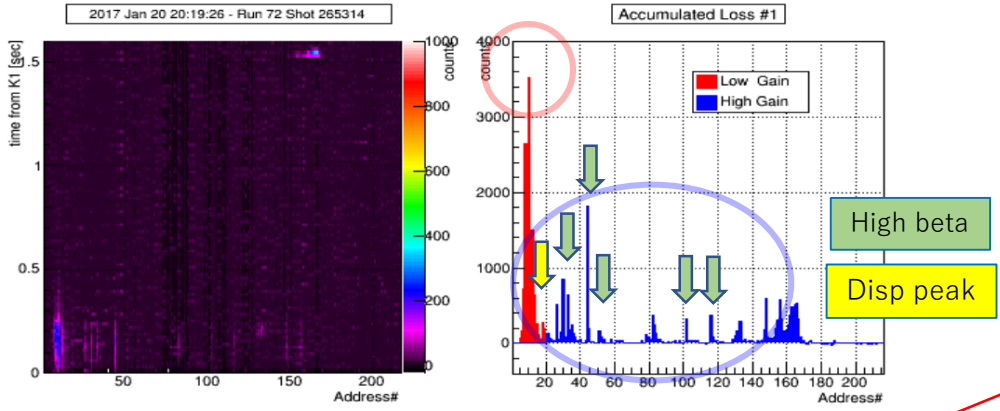
- (1) ビームロス分布の応答を見る。→ Scatterer-catcherシナリオを新たなコリメータシナリオ候補として評価。シミュレーションベンチマークにする。
- (2) テストショット時の温度上昇と、試験後の残留線量を測定。→利用運転に耐えるシステムを検討する。



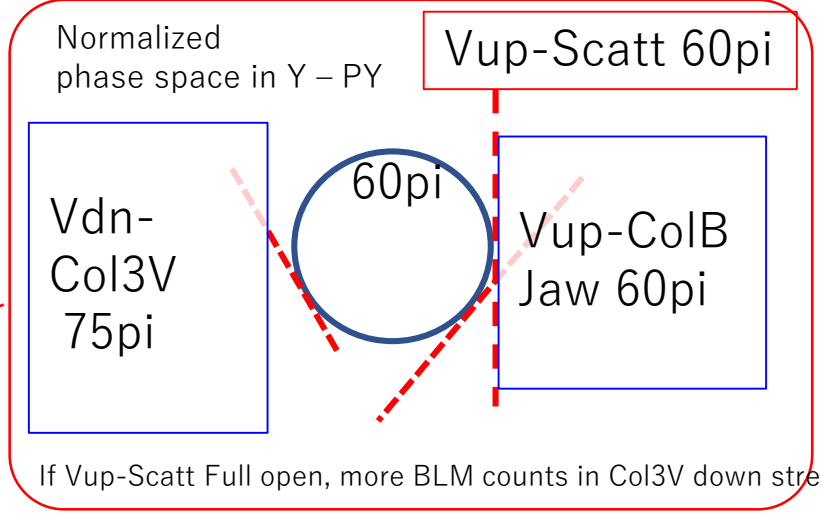
# Scatterer-catcher test



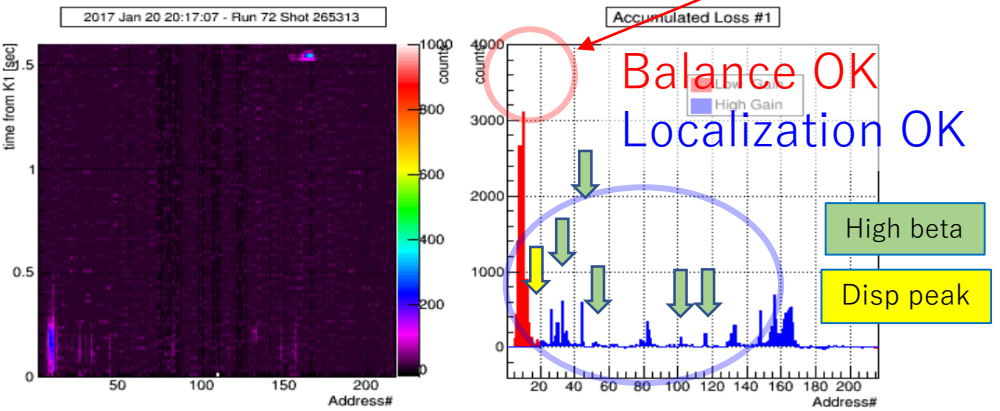
Vup Scat Full Open > 80pi (\*)



(\*) Common conditions:  
ColBV60pi Col3V75pi OtherCol full open



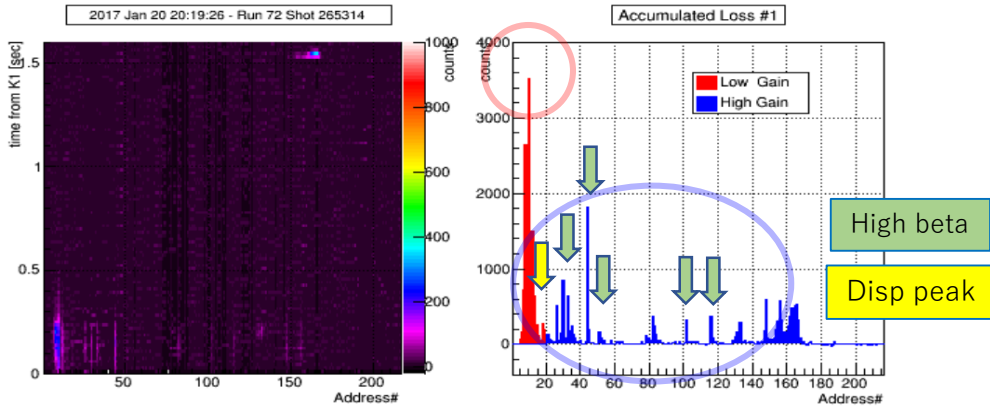
Vup Scatter 60pi (\*)



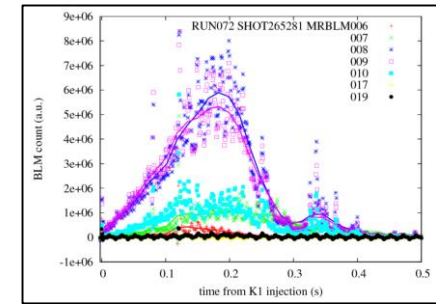
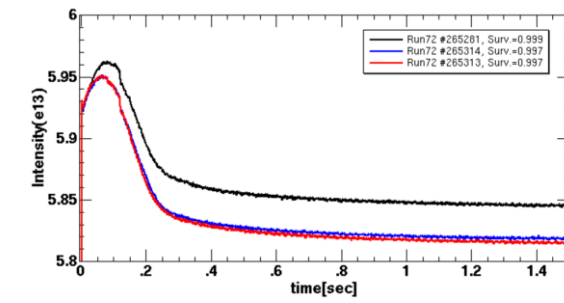
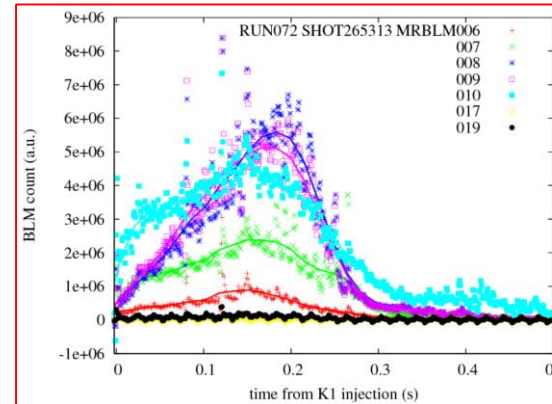
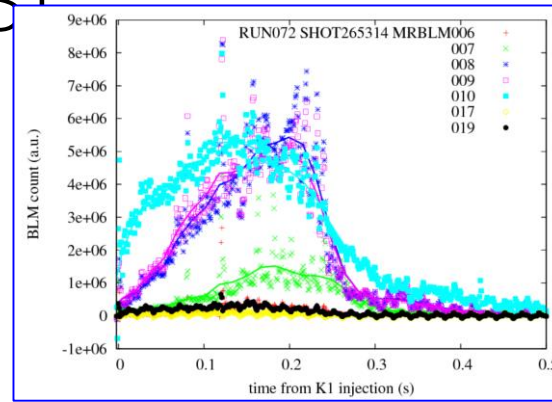
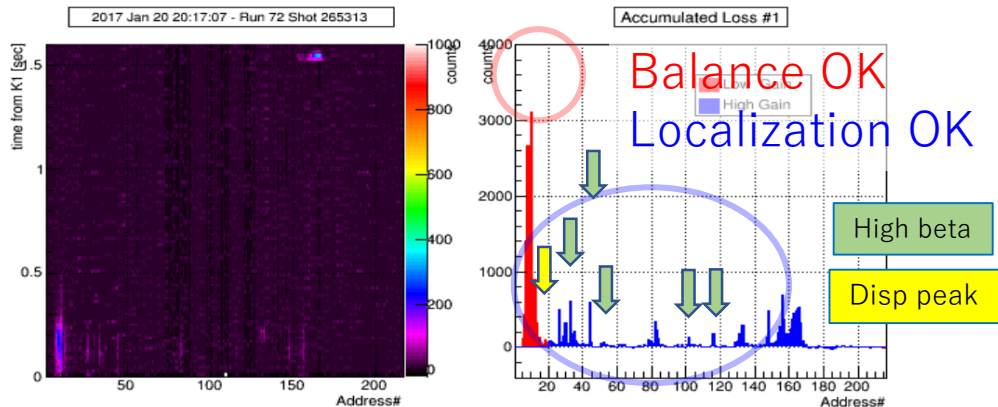
散乱体適用の有無で、ロス総量は同じに維持しながらロス分布だけ変化する条件でビーム試験。BLM010のロスの突出が抑えられている。ArcA最上流のDispersion peak loss 全周のHigh betaでロス応答に差があった。

# Scatterer-catcher test

Vup Scat Full Open > 80pi (\*)



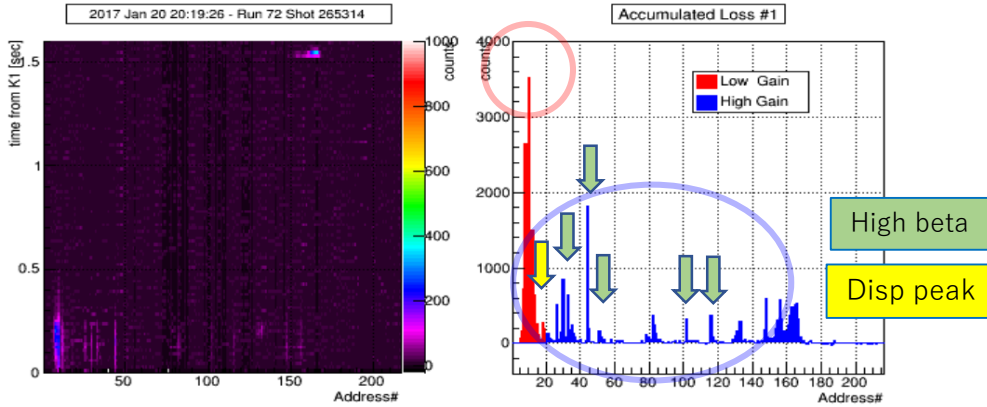
Vup Scatter 60pi (\*)



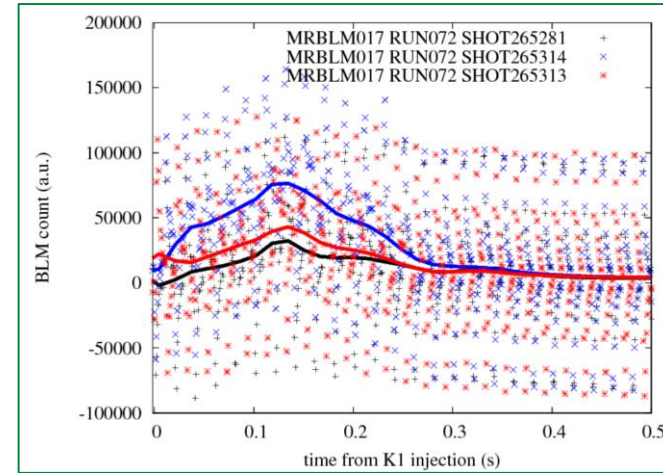
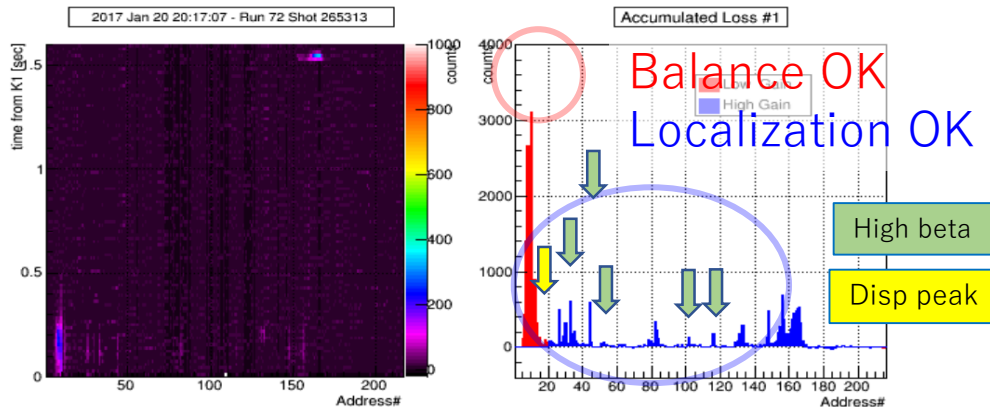
散乱体適用の有無で、ロス総量は同じに維持しながらロス分布だけ変化する条件でビーム試験。散乱体適用で COL3(BLM010COL3) のロス突出が抑えられた。ArcA最上流のDispersion peakと全周のHigh betaでロスが軽減。

# Scatterer-catcher test

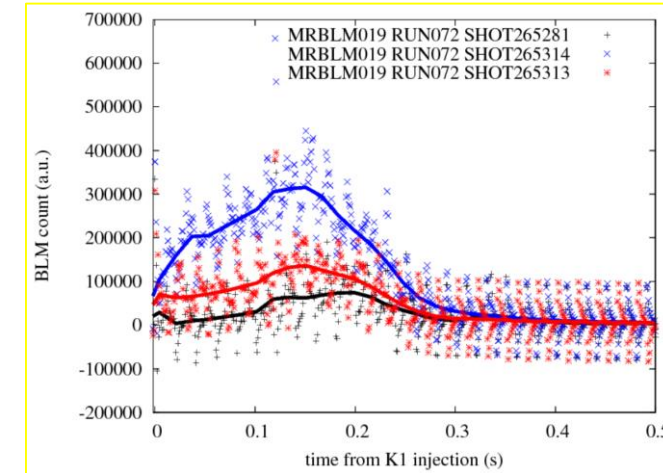
Vup Scat Full Open > 80pi (\*)



Vup Scatter 60pi (\*)



High beta @ Top of ArcA



1st Disp peak @ ArcA

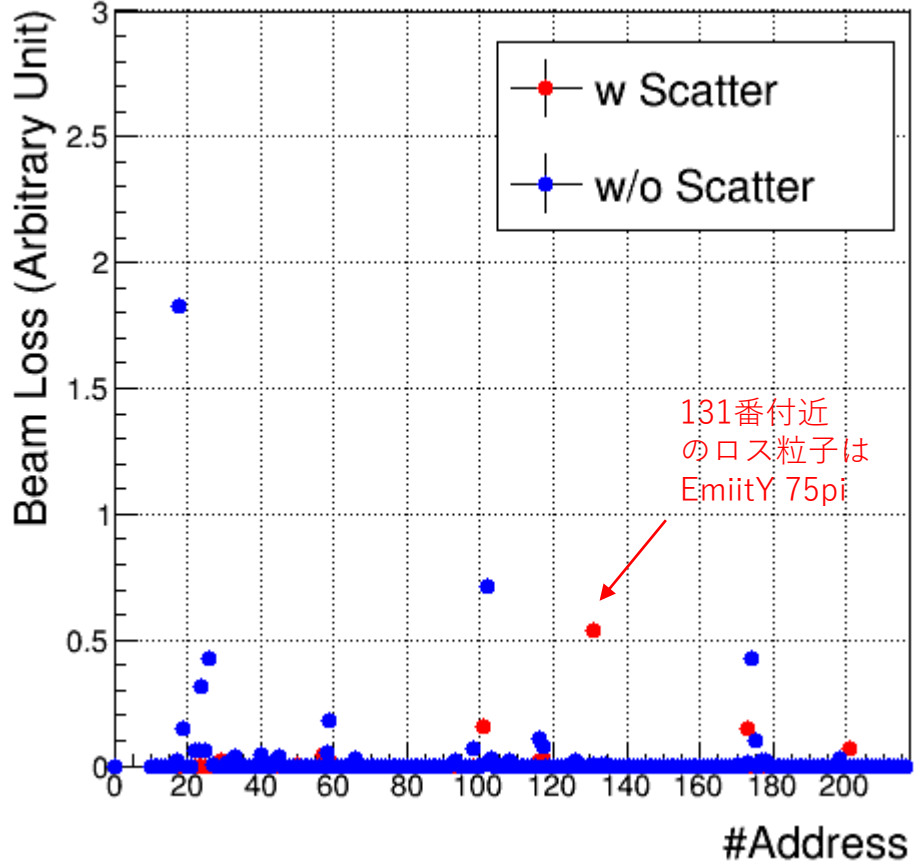
散乱体適用の有無で、ロス総量は同じに維持しながらロス分布だけ変化する条件でビーム試験。散乱体適用でCOL3(BLM010) のロス突出が抑えられた。ArcA最上流のDispersion peakと全周のHigh betaでロスが軽減。

# ビームシミュレーション

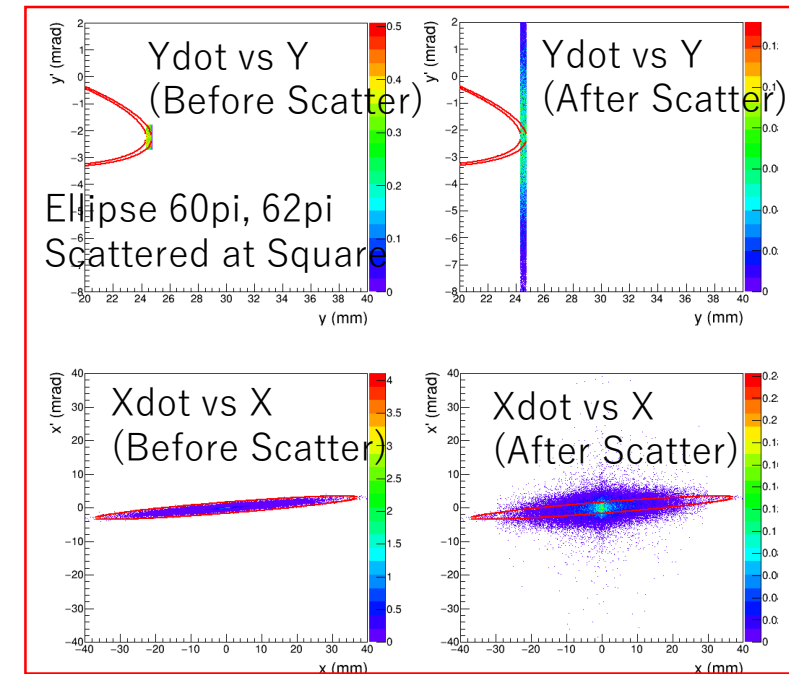
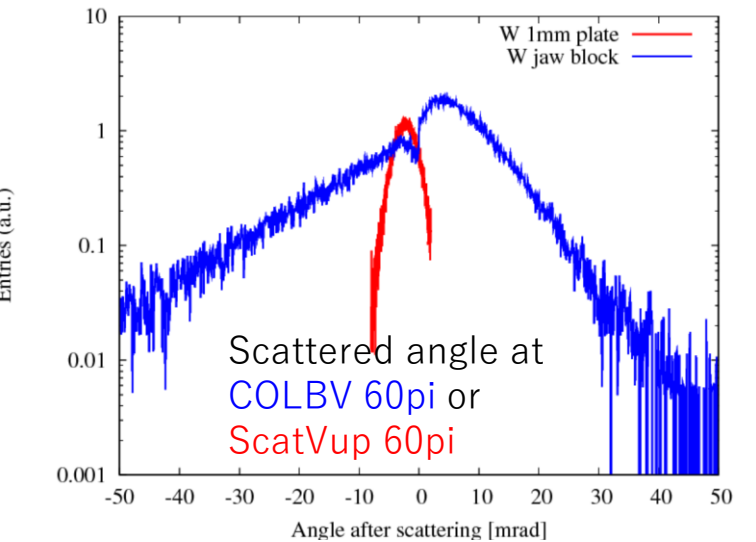
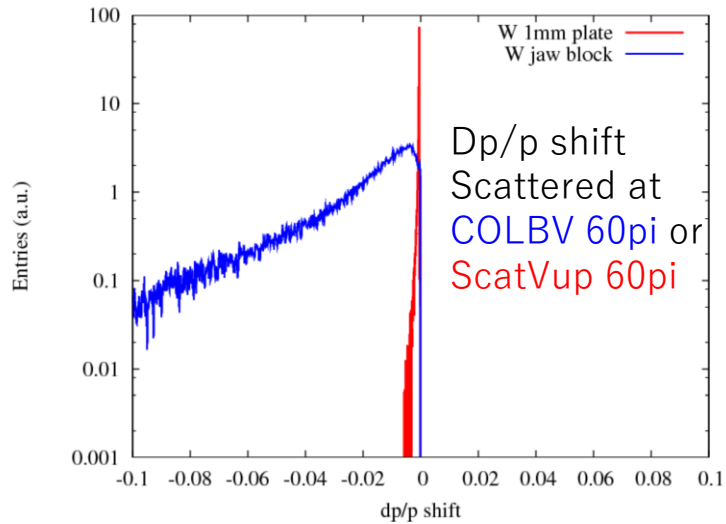
ScatVup  $> 81\pi$  COLBV  $60\pi$  COL3DV  $75\pi$

ScatVup  $60\pi$  COLBV  $60\pi$  COL3DV  $75\pi$

シミュレーションビームロス分布 (コリメータ部は除く)



Geant4 for scattering + sad for tracking  
COLA, COLCのH-Physical aperture  $75\pi$ も考慮。  
他のMR physical aperture は  $> 81\pi$



X-X'分布とY-Y'分布は独立だが  
散乱広がり自体は等方的 15

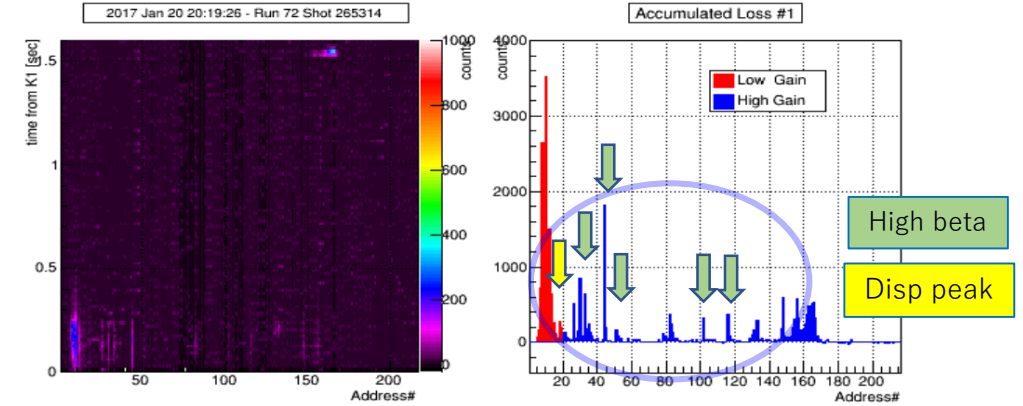
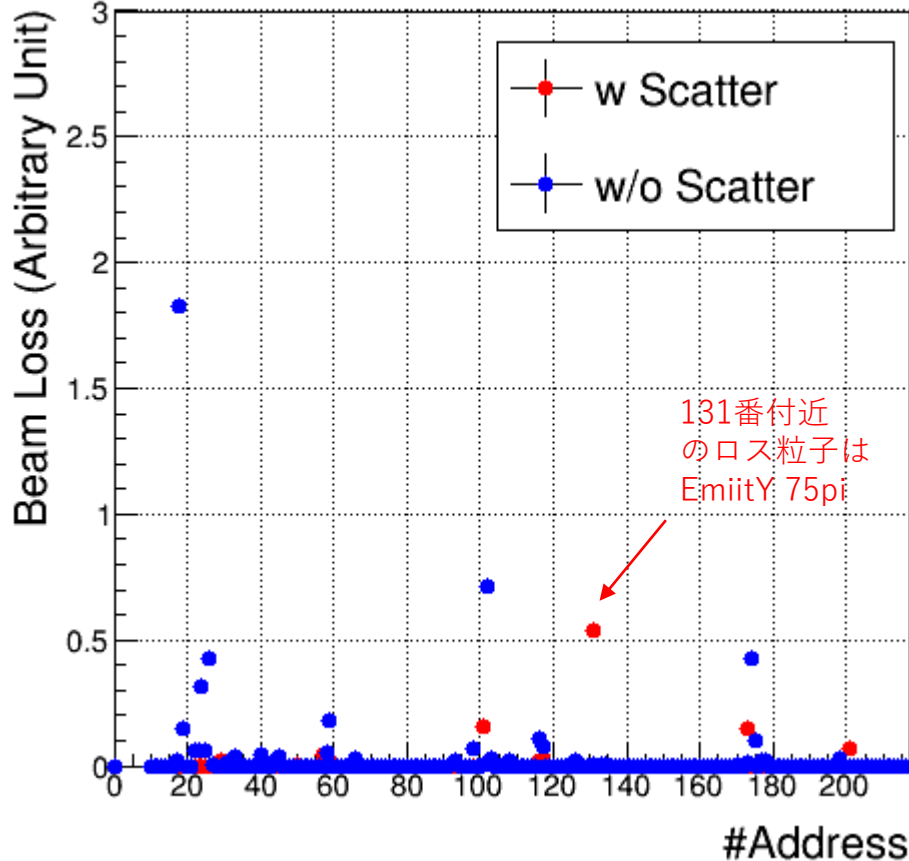
# ビームシミュレーション

ScatVup 60 $\pi$  COLBV 60 $\pi$  COL3DV 75 $\pi$

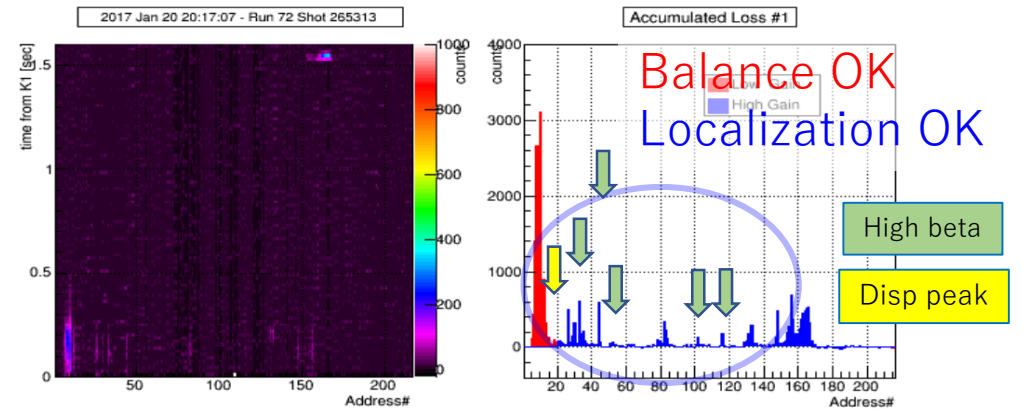
ScatVup >81 $\pi$  COLBV 60 $\pi$  COL3DV 75 $\pi$

Vup Scat Full Open > 80pi (\*)

シミュレーションビームロス分布 (コリメータ部は除く)



Vup Scatter 60pi (\*)



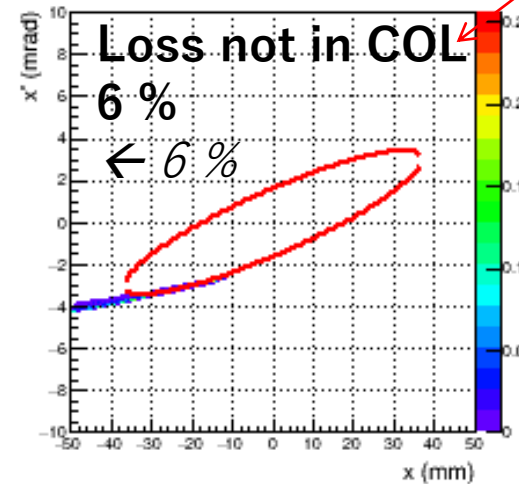
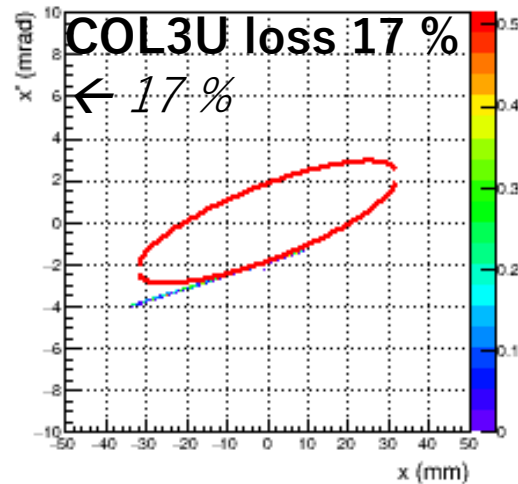
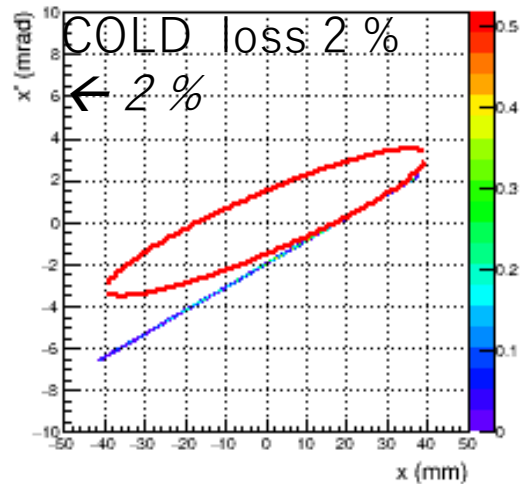
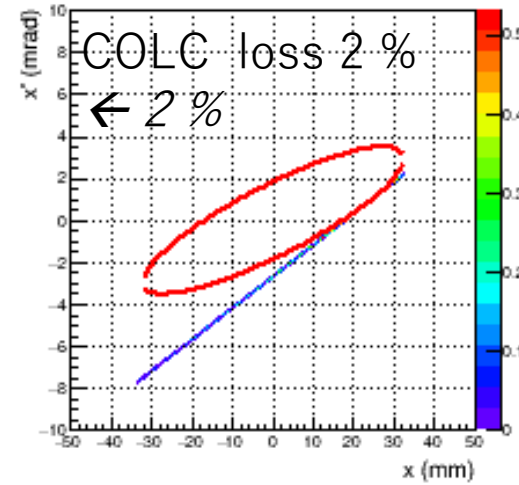
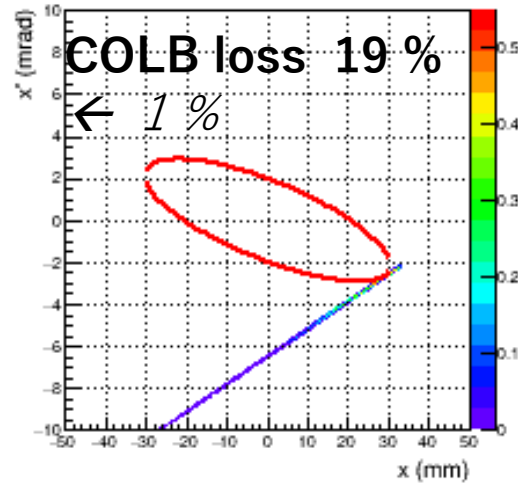
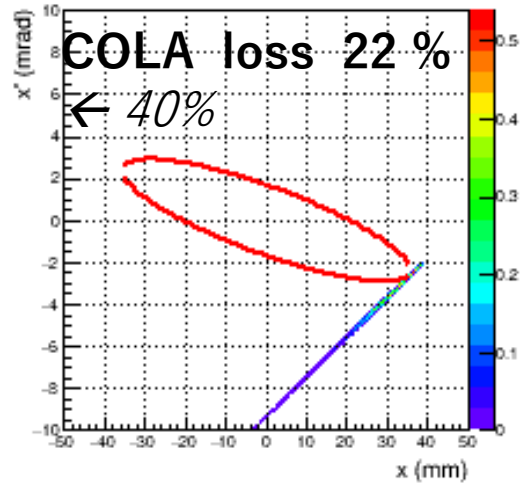
散乱体適用の有無によるロス分布の応答相違が良く再現されている。



# Scatterer下流でのBeam loss balance simulation

COLA 80pi (*Italic for 65pi*), COLB 65pi, COLC/D/3U 65pi

Y. Kurimoto



Scattererがあれば  
散乱機能と吸収機能が  
分離される。

COLA COLB COL3U  
でロスバランスを均等  
に調整しうる。

実用機作成/運用に向け  
てScat-Catcherでのコ  
リメータシナリオを検  
討する。

# 温度上昇、残留線量

単発100shot程度では

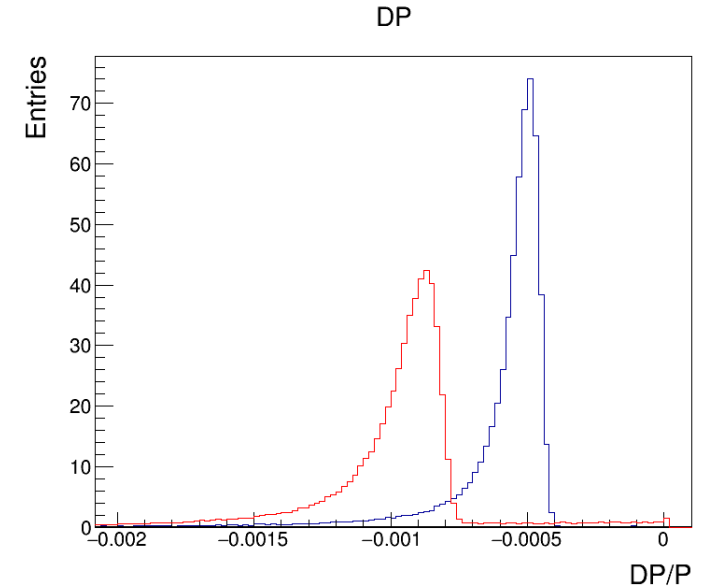
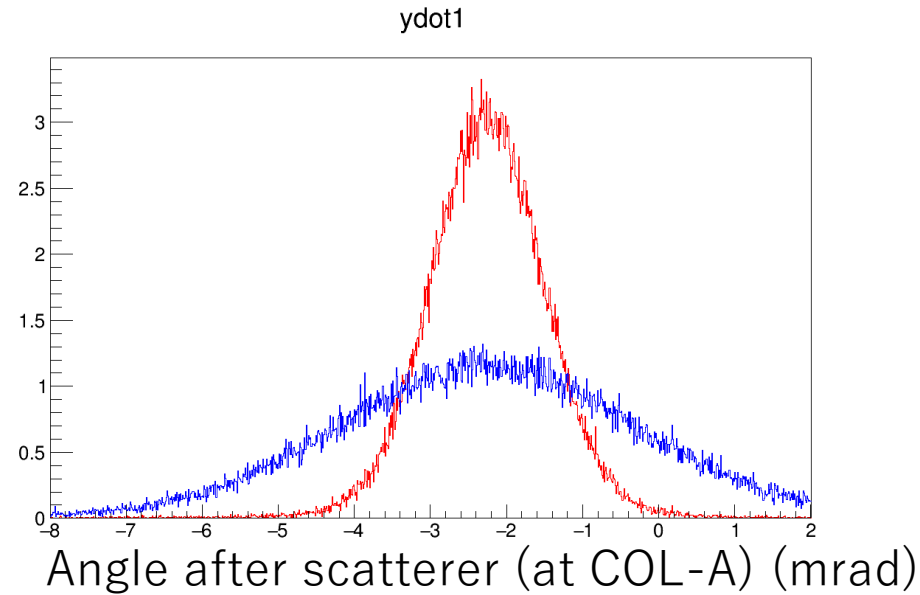
- 有意な温度上昇はない。
- 残留線量も周辺機器と差がない。

今後、冷却機構、遮蔽機構の検討に向けて連続100~ショットで温度上昇、残留線量を測定する。

# 素材検討

放射化を念頭にLow Z (Graphite)も検討したが (Geant4)、同じ質量/厚みでは

青 タングステン 1 mm  
赤 グラファイト 10 mm



- 散乱角：Wの方が3倍広い
- Dp/p下がり：Wの方が1/2  
となりあまりメリットはない。

dE/dxによる予想

	Density g/cm <sup>3</sup>	dE/dx <sub>min</sub> MeV/g/cm <sup>2</sup>	Depth cm	ΔT MeV	δp/p
W	19.3	1.145	0.1	-2.2	-0.59
G	1.7	1.745	1.0	-3.0	1.081

# まとめ

- J-PARC MRにおける今後の大強度化におけるロス局所化能力を増強するシナリオとして、現コリメータシステムのOne-path方式に替えて、Scatter-Catcher方式の採用を検討するため、Scatter試験機を導入した。
- ビーム試験で、良好なロス局所化能力を実証した。
- ビームシミュレーションは試験結果と良く一致している。
- 今後、利用運転に適用すべく、Jawとの兼ね合いも考慮したシミュレーションベースでのコリメータシナリオ作成、実用機作成に向けた冷却試験、遮蔽機構検討する。