

# J-PARC MR速い取り出し用新セプタム電磁石の 故障への対応

岩田宗磨、石井恒次、芝田達伸、杉本拓也、五十嵐進、發知英明、佐藤洋一、  
安居孝晃、松本教之、松本浩（KEK）

速い取り出し(FX)セプタム電磁石(SM)群のアップグレードで  
1台だけ初期不良がありインストールを延期した。

**1台SMがない状態**でビーム取出しに対応

# はじめに

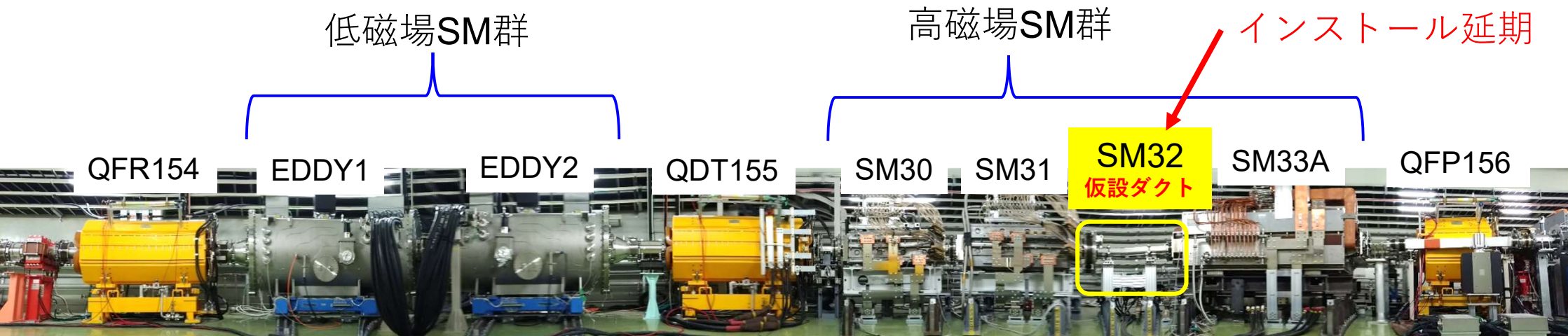
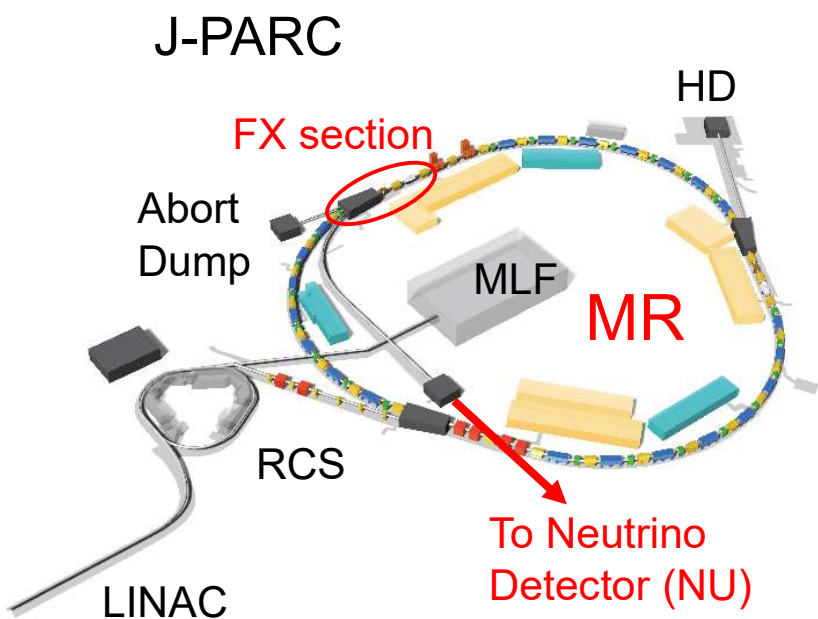
## J-PARC MRの高出力化(500kW⇒1.3MW)計画

- ・ 1Hz運転(周期2.48秒→1.16秒)
- ・ ビーム粒子数積み増し(30%UP)

速い取り出し(FX)機器も1Hz運転対応や  
ビームロス低減対策が必要

FX低磁場SM 2台と高磁場SMのSM30,SM31を  
**2021年7月～2022年5月の期間に交換した。**

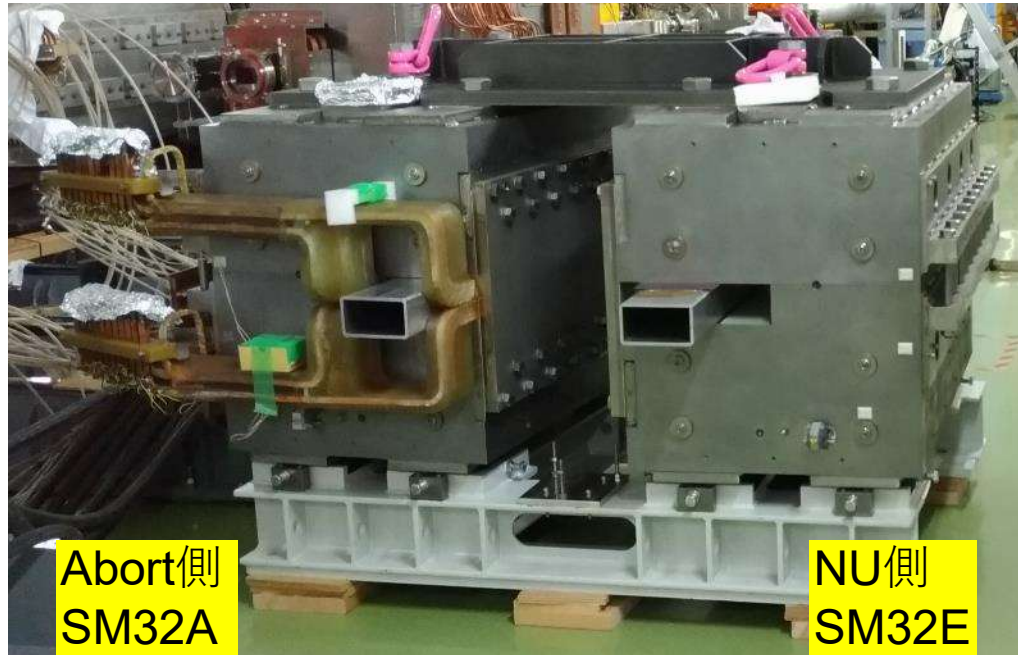
参照：本学会ポスター発表 FRP006



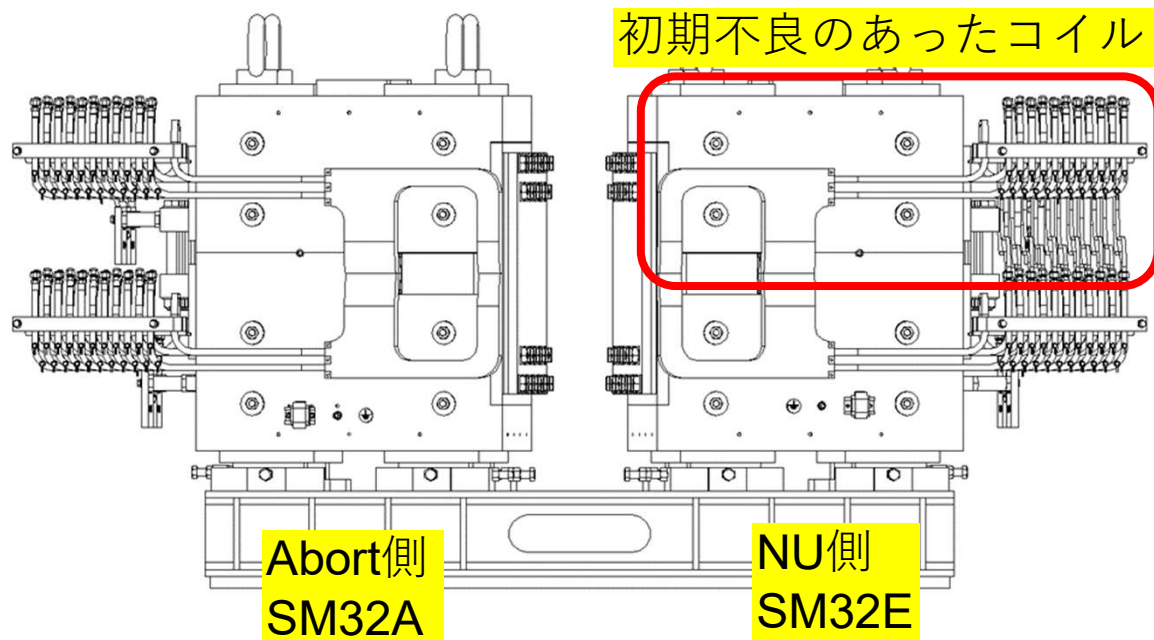
FX連続写真(新SMインストール後 2022年5月撮影)

# 新SM32について

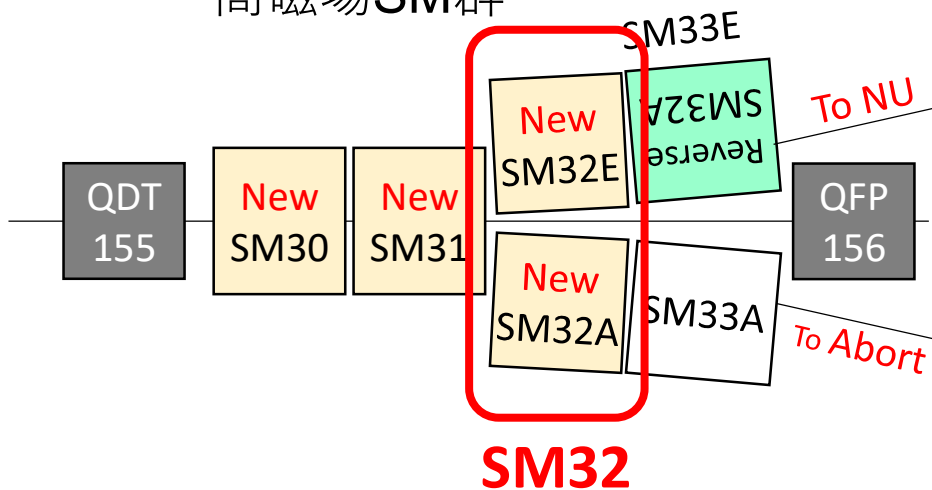
ビーム下流側から見た写真



ビーム下流側から見た図面



高磁場SM群



仮設ダクト

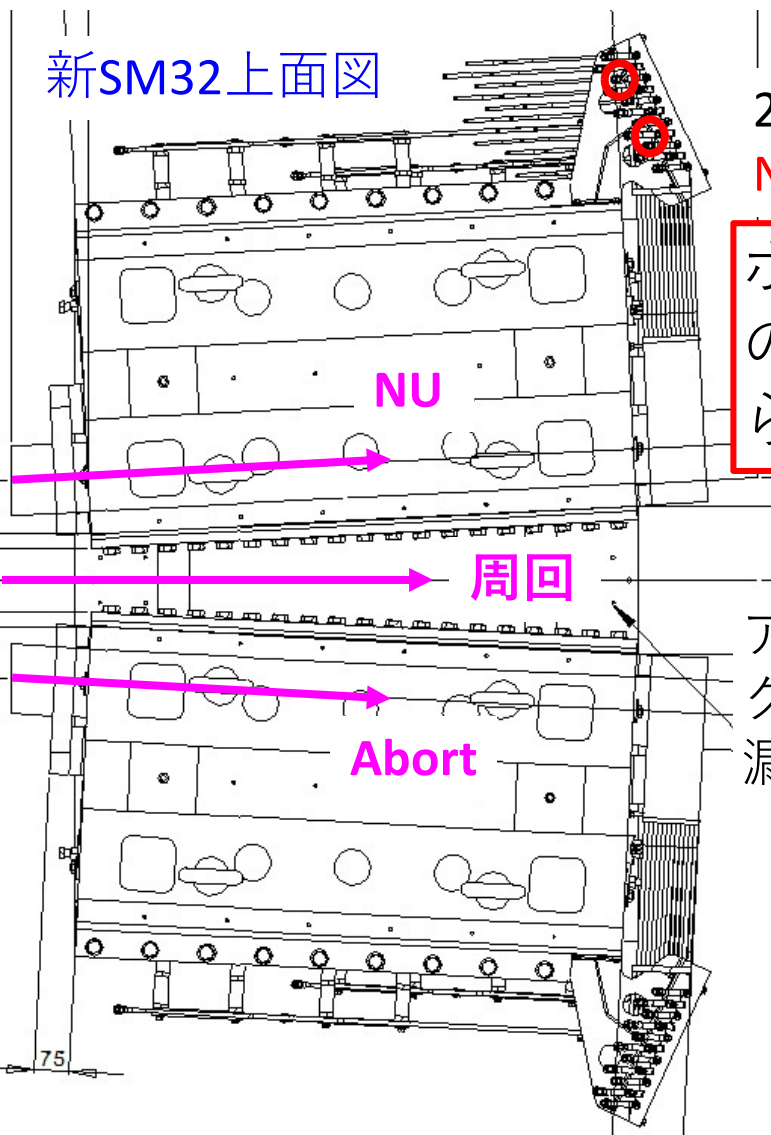


SM32 spec.

BL : 1.198 Tm  
 L: 1.2 m  
 Gap: 0.088 m  
 I : 2.9 kA  
 Turn: 24

# 新SM32の初期不良① ホロコンからの水漏れ

新SM32上面図



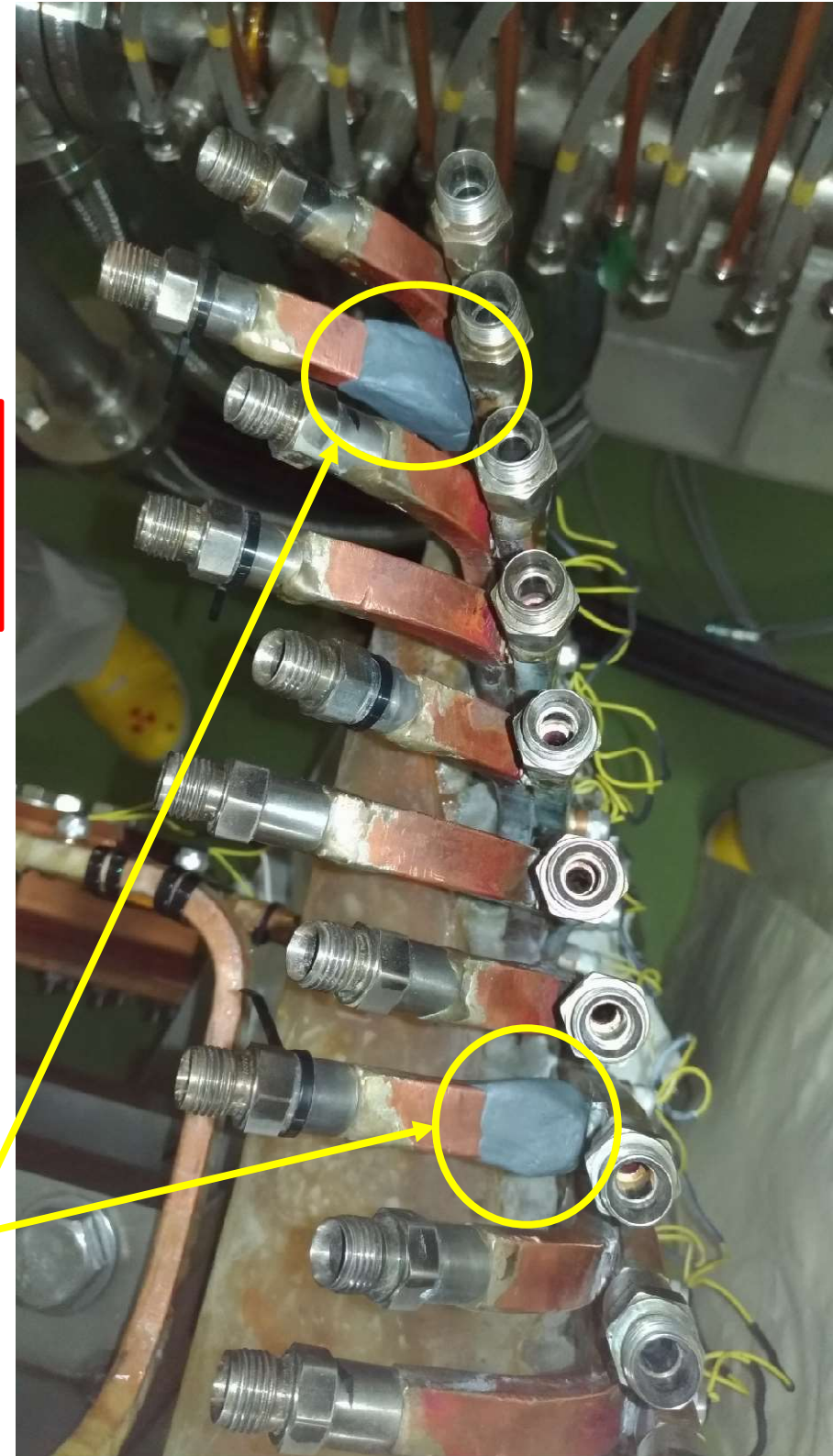
2021年7月 通水試験  
NU・上側コイル

ホロコンの曲げ部分  
の微細なクラックから  
漏水発見

アボート側コイルにも  
クラックが見られるが  
漏水は無し

臨時対策

エポキシパテを  
巻いて止水した



## 新SM32の初期不良② ホロコンのロウ付け不良

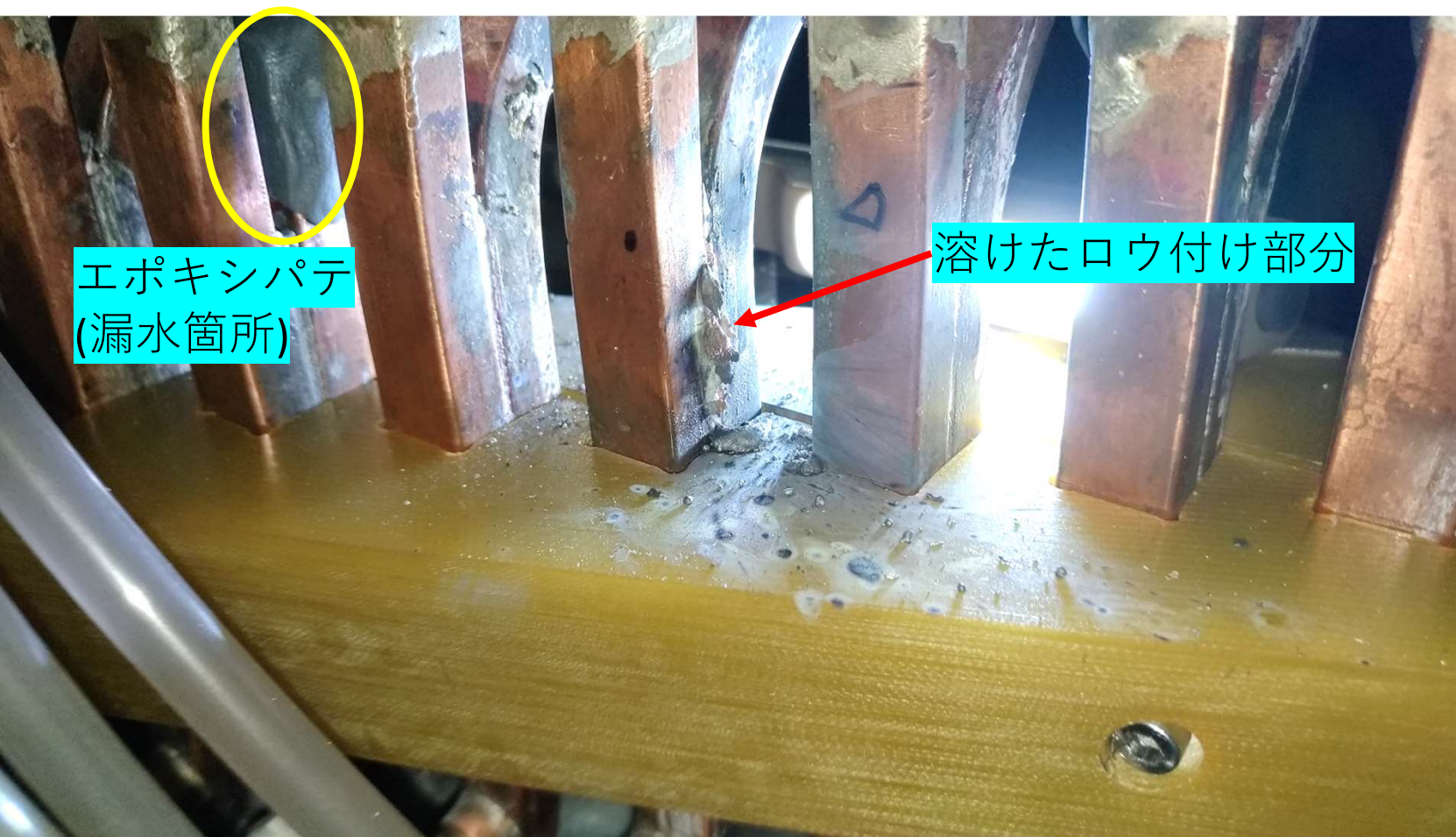
場所：NU・上側 = 漏水したコイルと同じ

2021年8月の通電試験開始時に

フラットトップ(FT)1kAのパターン運転で**放電発生**

### 【原因】

**ロウ付け部分が不良**で接触抵抗が大きく、電流による発熱で溶けた。  
銀ロウが溶けて生じた隙間で**放電**したものと考えられる



**SM32使用不能**

2022年10月現在**コイル再製作中**  
2022年度内に完成予定



**2023年夏に  
インストール予定**

既存コイル使用不能で再製作コイルは長納期のため

**インストールを延期** = FX(Abort/NU)ライン上にSM32がない期間が発生

- ・ 2022年6月の**ビーム試験** 実施済み SM32無し3GeV取出しOK
- ・ 2022年11月の**ビーム試験**
- ・ 2023年夏までの**ユーザーラン** →

**SM32無しでの30GeVビーム取出し**

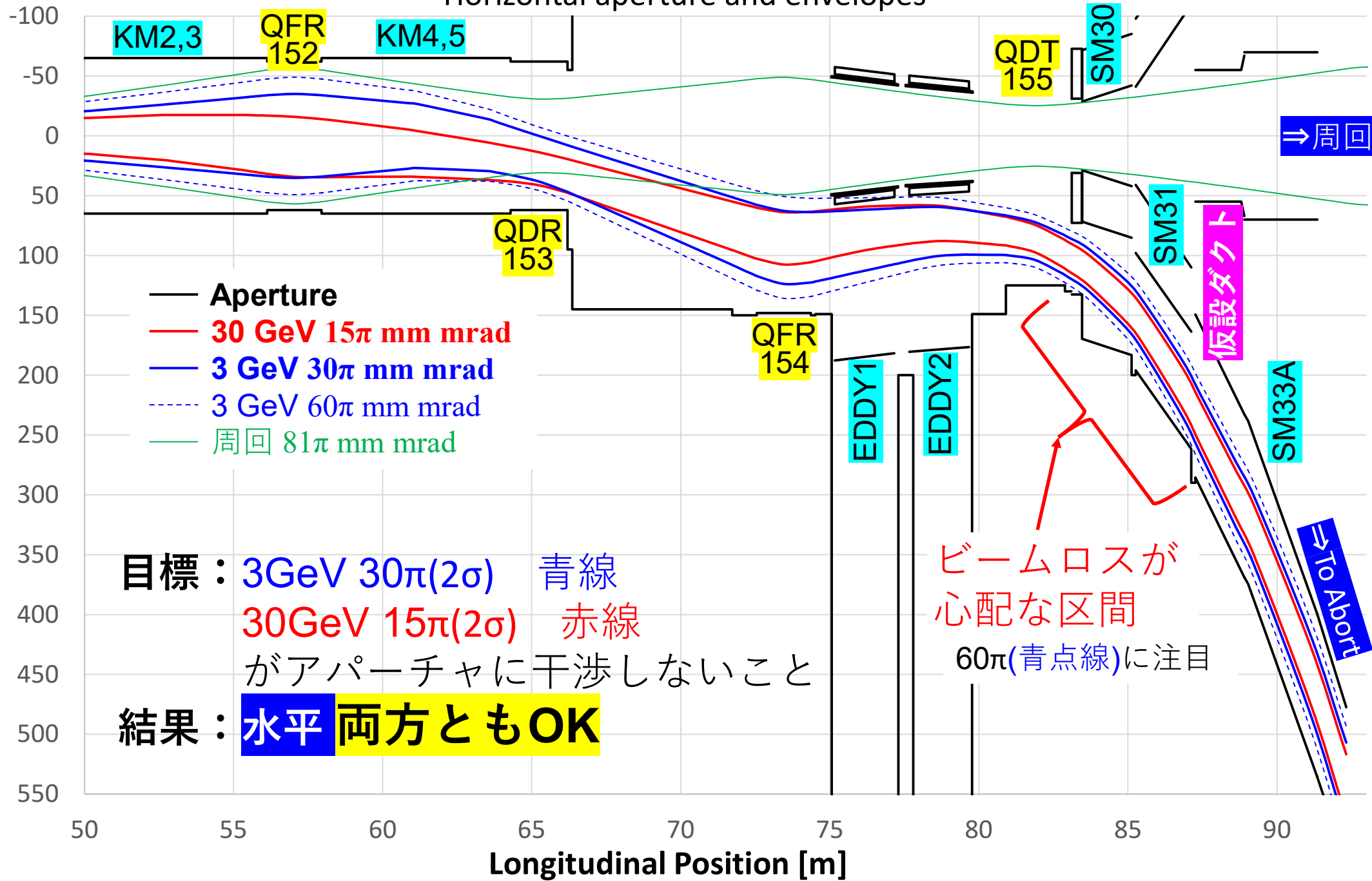
## [課題1] SM32無しでのビーム取出し軌道計算とその評価

- ① アパーチャに干渉しない3GeVおよび30GeV取出し軌道の取得  
および電源出力電流の確認
- ② 3GeVビーム取出し結果を用いて30GeV軌道計算の信頼性評価
  - ・ 3GeV取出し軌道計算と**実際のビーム軌道との比較**
  - ・ 3GeVビーム取出し試験後の**残留線量測定**

## [課題2] SM32無しでの30GeVビーム取出しが困難となった場合の バックアップ案の検討

[課題1]-① SM32無し取出し 3GeV&30GeVビーム軌道計算 水平

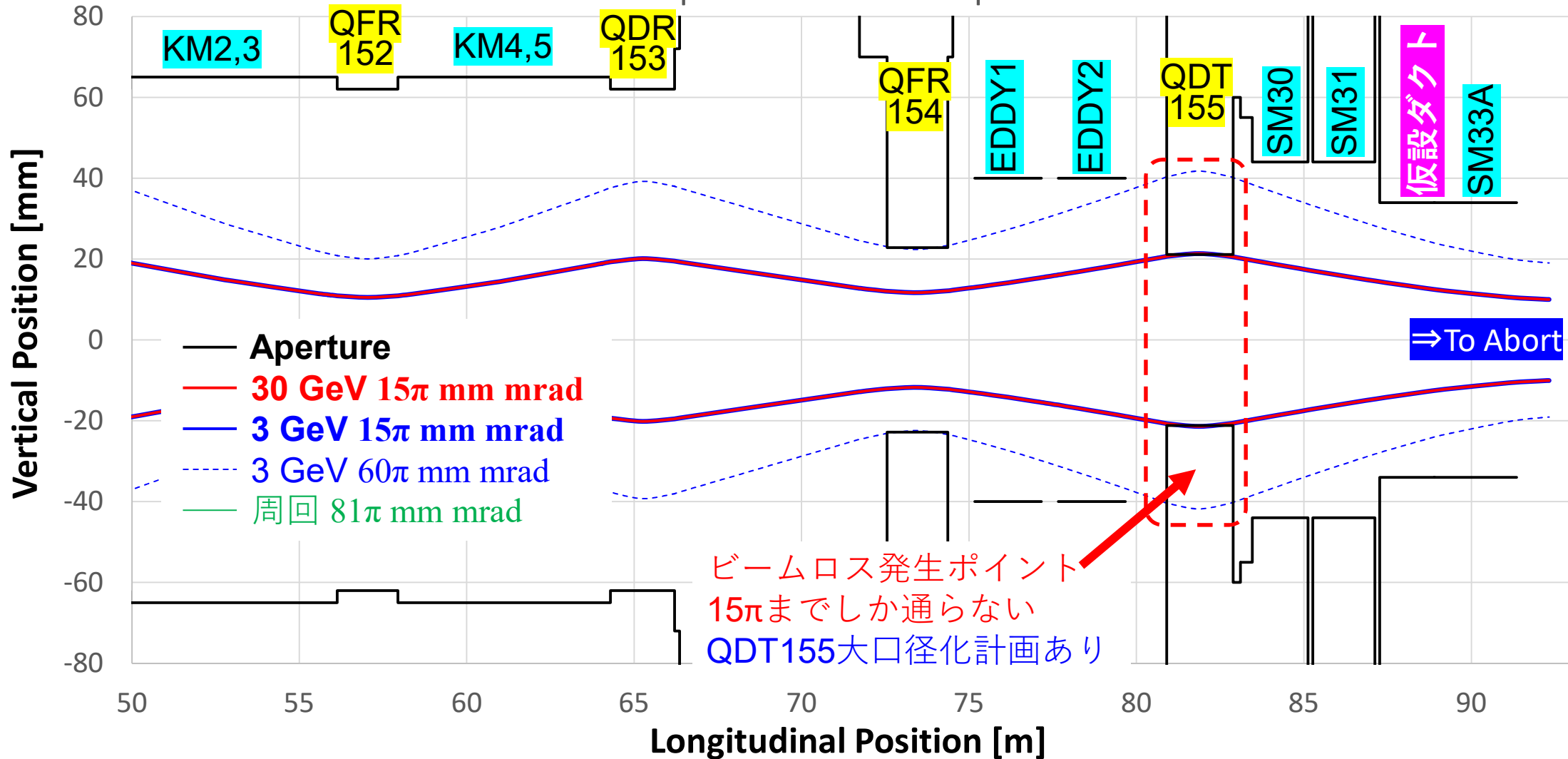
Horizontal aperture and envelopes



**目標 :** 3GeV 30 $\pi$ (2 $\sigma$ ) 青線  
 30GeV 15 $\pi$ (2 $\sigma$ ) 赤線  
 がアパーチャに干渉しないこと  
**結果 :** 水平 両方ともOK

ビームロスが  
 心配な区間  
 60 $\pi$ (青点線)に注目

Vertical aperture and envelopes



目標：3GeV  $30\pi(2\sigma)$ , 30GeV  $15\pi(2\sigma)$ がアパーチャに干渉しないこと

結果：垂直 3GeVはQDT155でNG, 30GeVはOK,

ビームロスの影響が大きいと予想



軌道計算から得られた  
必要な生成磁場と電源出力値

	生成磁場 電源出力 上限	3GeV取出 SM32無 (30π)	30GeV SM32無 (15π)
Eddy1	0.565 T 18 kA	不使用	0.157 T 5.00 kA
Eddy2	0.565 T 18 kA	0.043 T 1.371 kA	0.363 T 11.55 kA
SM30	1.097 T 3.9 kA	0.153 T 0.543 kA	1.076 T 3.83 kA 98%
SM31	1.493 T 4.0 kA	0.176 T 0.471 kA	1.478 T 3.96 kA 99%
SM32	1.438 T 4.2 kA	不使用	不使用
SM33	1.563 T 4.2 kA	0.187 T 0.503 kA	1.504 T 4.04 kA 96%

ほぼ上限値に近い出力

2022年5月にFTを上限値とした  
パターン運転の24時間連続通電試験  
を実施 ⇒ 異常はなかった

電源出力を下げても運用する  
方法を検討する ⇒ [課題2]

目標：電源出力電流値が全てのSMで上限値未満であること

結果：全SMでOK

[課題1]-② 3 GeVビーム取出し結果と軌道計算の比較  
～実際のビーム軌道との比較～

2022年6月のビーム試験で

参照：T. Yasui 本学会口頭発表 FROA01

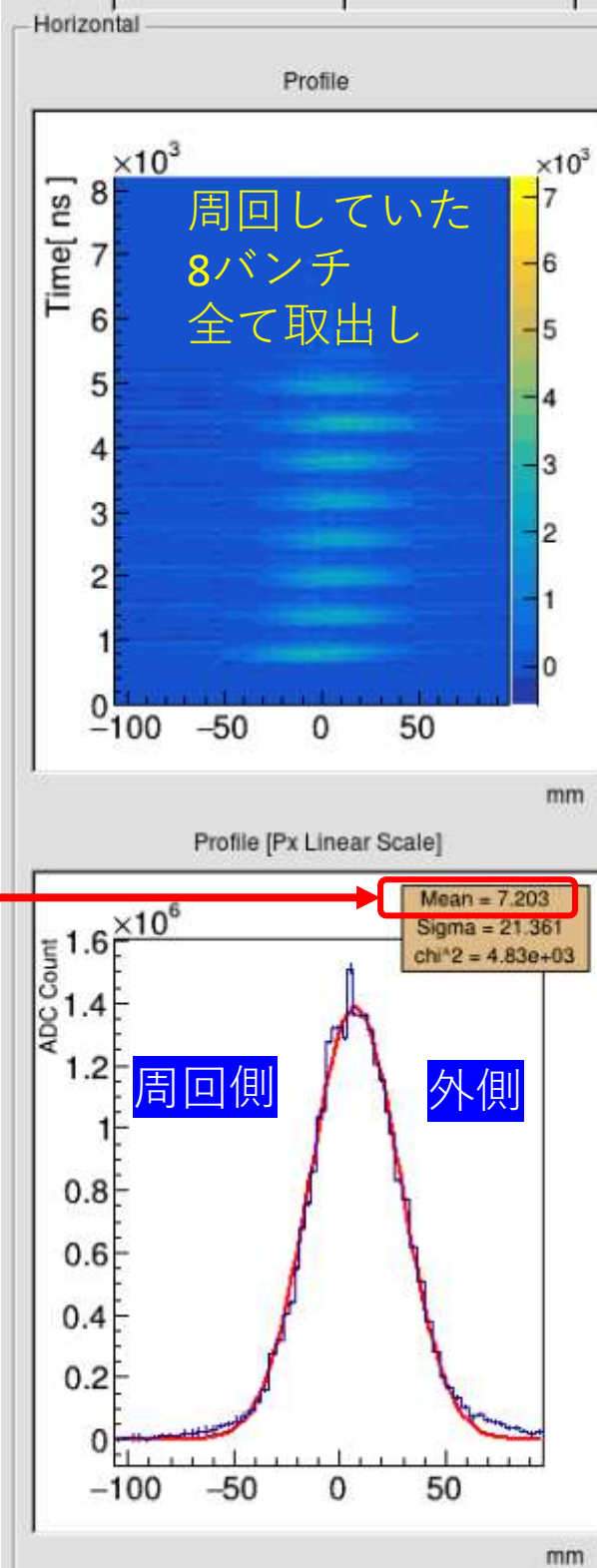
SM32無しで3GeVビーム取出し成功

Abortライン上のプロファイルモニタにて  
取り出したビーム位置を確認

水平方向のビーム位置：外側 約7mm

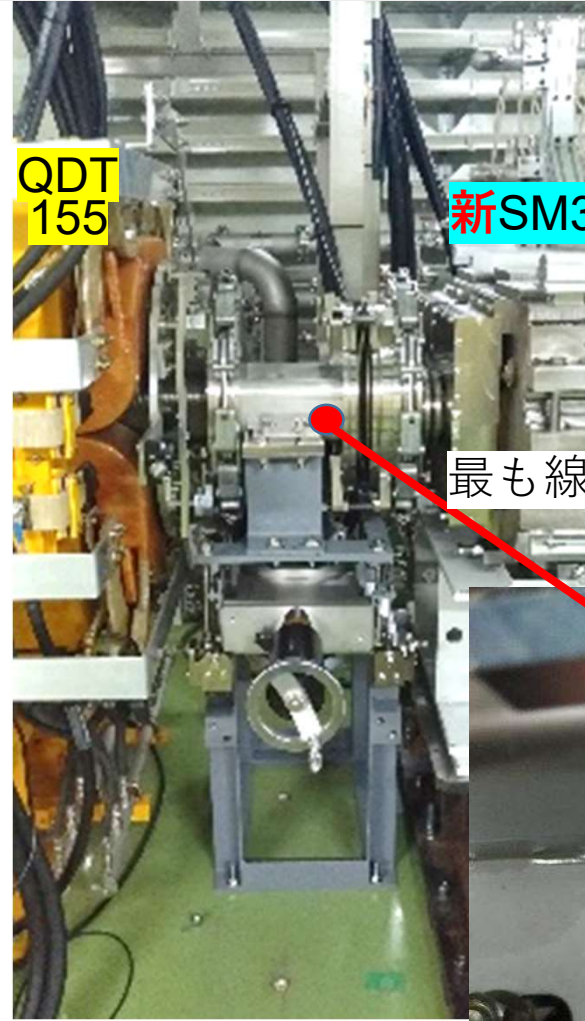
軌道計算の予想位置：外側 約6mm

結果：約1mmのずれが残るが**ほぼ軌道計算通り**

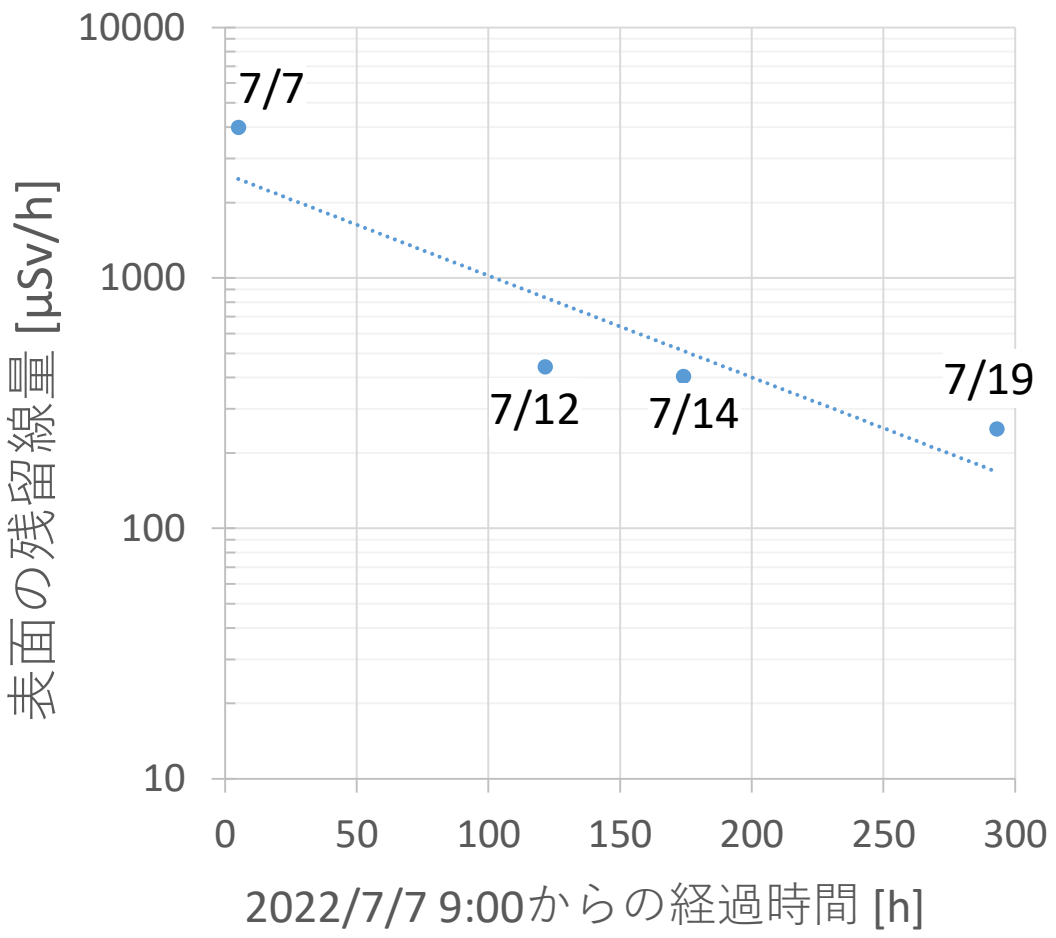


# [課題1]-② 3 GeVビーム取出し結果と軌道計算の比較 ～残留線量測定について～

ビームロスの状況を把握するために  
ダクト表面の残留線量測定を行った。

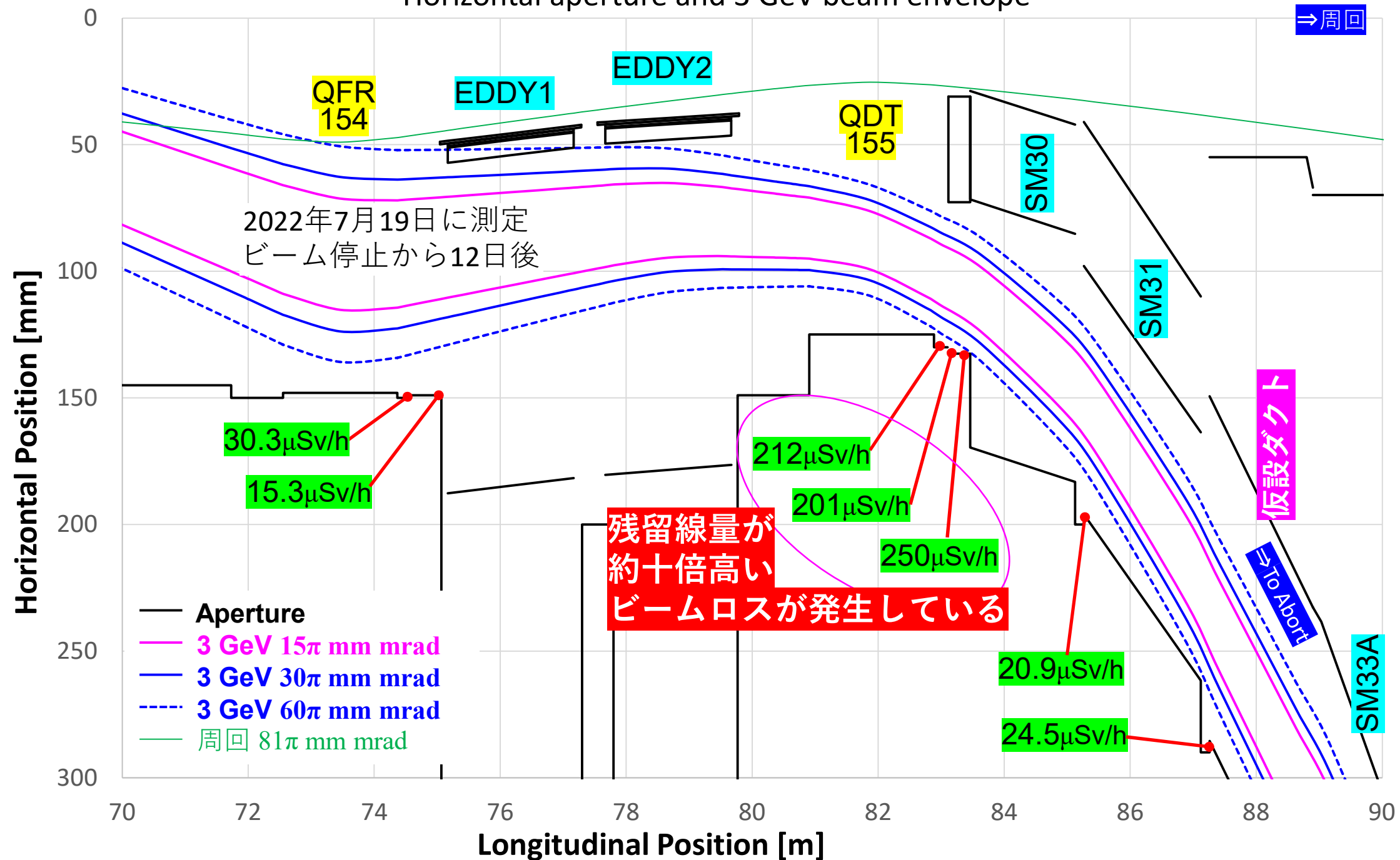


SM30上流・Abort側の側面



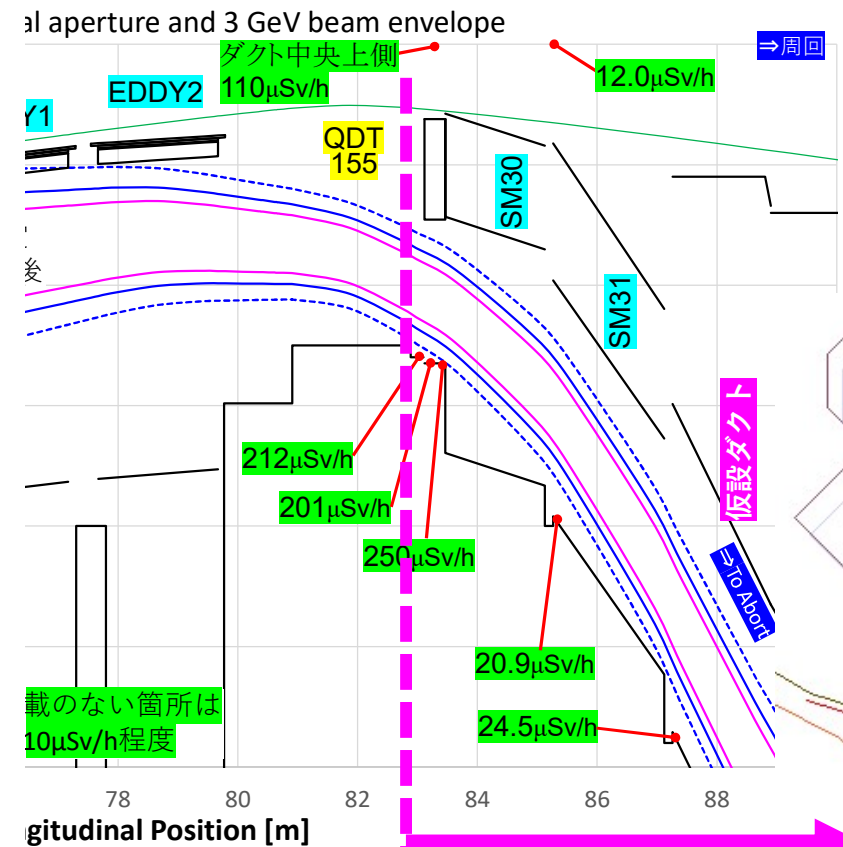
測定器：CANBERRA製RADIAGEM

Horizontal aperture and 3 GeV beam envelope

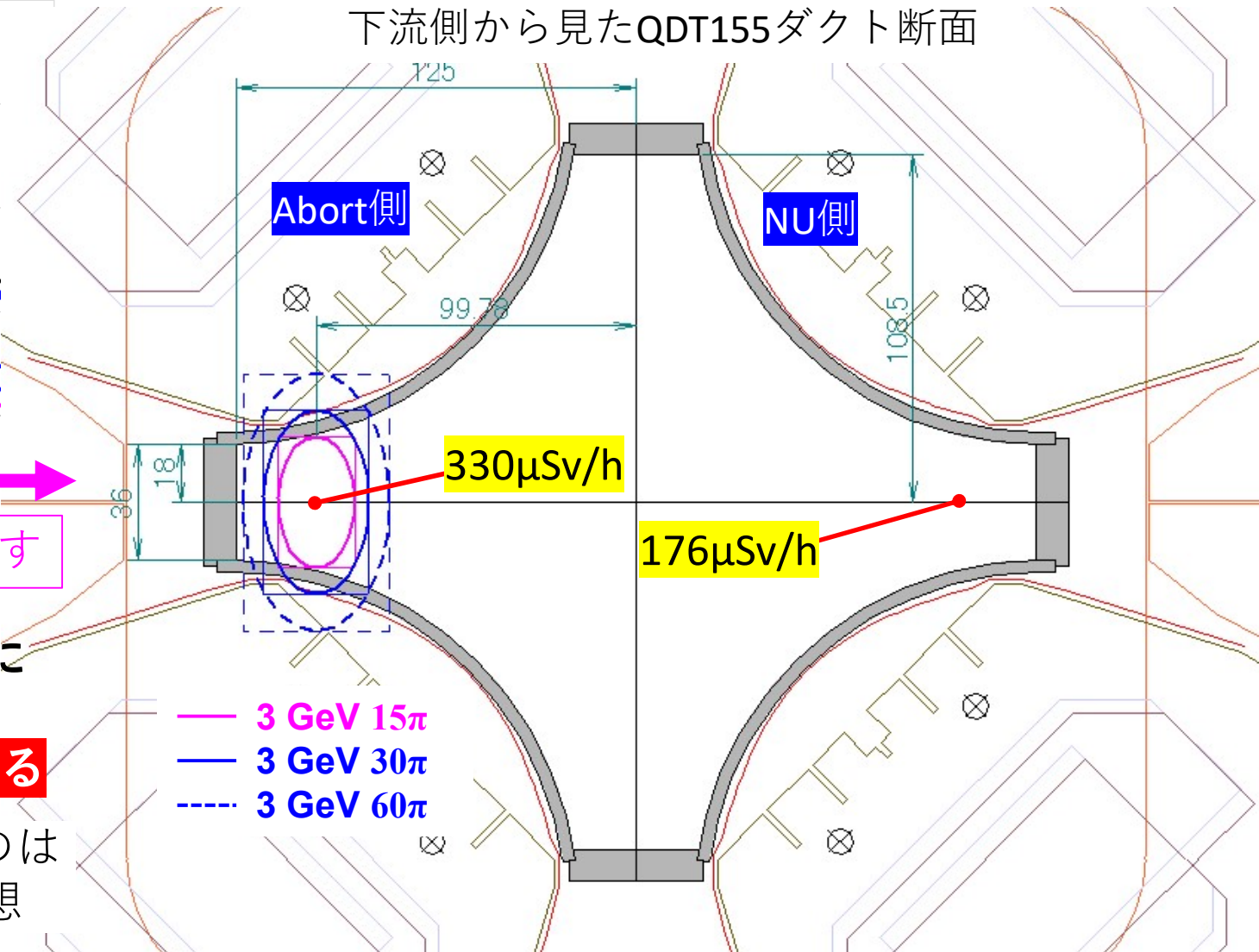


QDT155ダクト内壁から2~3cm離れた空間の線量を測定した

下流側から見たQDT155ダクト断面



断面を右に示す



15π以上でビームダクト上下面に重なっている  
つまりビームロスが発生している

SM30上流側の残留線量が高いのは2次ビームが当たった影響と予想

QDT155の大口径化計画あり

## [課題1] SM32無しでのビーム取出し軌道計算とその評価

### 3 GeVビーム取出しによる軌道計算の評価

- ・ Abortラインのプロファイルモニタによる3GeVビーム軌道の確認  
軌道計算と実際のビーム位置の比較

【評価】 ○ 水平方向1mm程度のずれで一致

- ・ 残留線量測定によるビームロス点の確認

【評価】 ○ 軌道計算と矛盾するような  
残留線量値を示す箇所はなかった

**【結果】 30GeV取出しの軌道計算結果も信頼できそう**

[課題2] SM32無しでの30GeVビーム取出しが困難となった場合のバックアップ案の検討

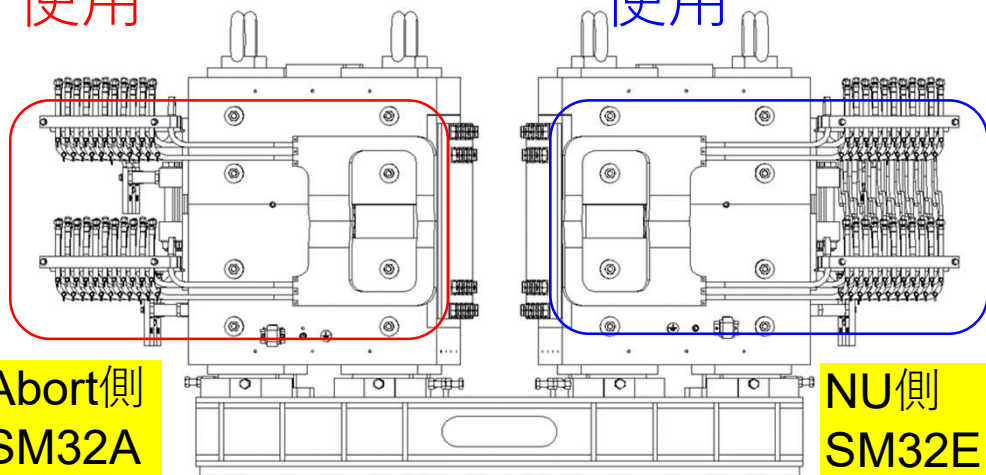
新SM32の既存Abort側コイルは使えるのではないか？



新規コイルと既存コイルを使ったSM32の構築案

既存コイル  
使用

新規コイル  
使用



SM32下流側の図面

	電源出力 上限 [kA]	30GeV SM32無 (15π) [kA]	30GeV SM32 1kA通電 (15π)[kA]	
Eddy1	18	5.00	7.53	
Eddy2	18	11.55	7.53	
SM30	3.9	3.83	3.75	96%
SM31	4.0	3.96	3.42	86%
SM32	4.2	不使用	1.00	
SM33	4.2	4.04	3.72	89%

出力  
低減

2022年8月

Abort側コイルの通電試験実施

FB 300A / FT 3000Aのパターン運転

⇒ 2時間の連続通電で異常なし

【結果】 既存Abort側コイルを使って  
新SM32低電流(1~2kA)運用は可能

## まとめと今後の予定

### 【まとめ】

FX SMアップグレード ⇒ 2021年7月～2022年5月 新SMへ交換作業実施

2021年8月 SM32に初期不良(漏水&放電)あり ⇒ インストール延期

2022年6月,11月のビーム試験は、SM32無しでビーム取出し

6月の試験で、3GeVビーム取出しに成功

**[課題1]** アパーチャに干渉しないSM32無し30GeV取出し軌道計算OK  
3GeV取出し状況から軌道計算の検証

- ・ 取り出しビーム位置は軌道計算とほぼ一致
- ・ 残留線量分布も予想と矛盾なし

**[結果]** 30GeV取出しの軌道計算結果も信頼できそう

**[課題2]** バックアップ案(SM32以外の電源出力電流を低減する)の検討

**[結果]** 既存Abort側コイルを使用した暫定版SM32の構築と使用

### 【今後の予定】

- ・ 2022年度中 新規コイルの納入と組み込み・通電試験
- ・ 2023年夏 インストール