

# J-PARC MRの速い取り出し用 新セプタム電磁石の漏れ磁場軽減対策

芝田 達伸 (KEK)

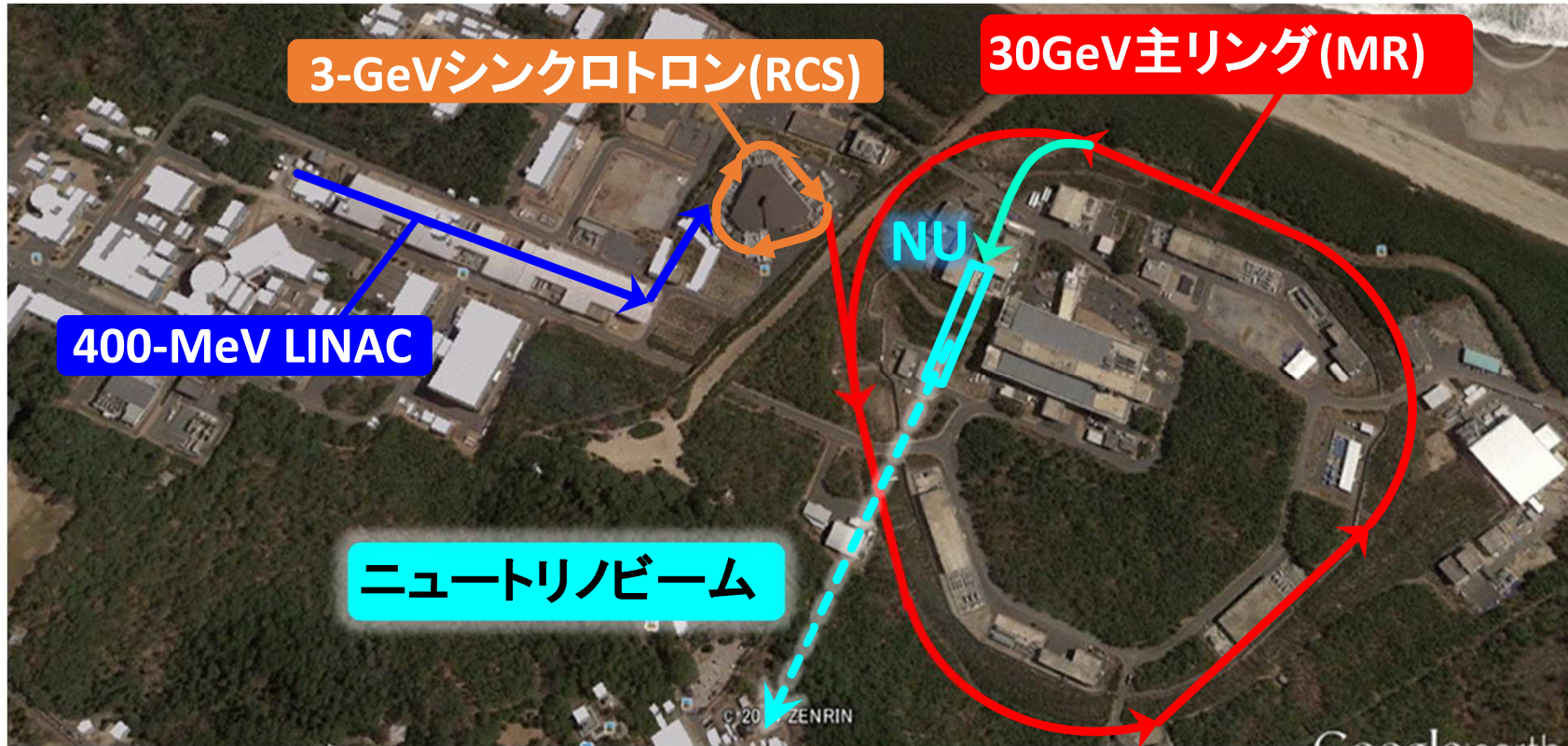
岩田 宗磨、石井 恒次、松本 教之、佐藤 洋一、五十嵐 進、發知 英明、  
安居 孝晃、浅見 高志、杉本 拓也、松本 浩

KEK

2022年10月21日(金)

電磁石と電源② FROB12

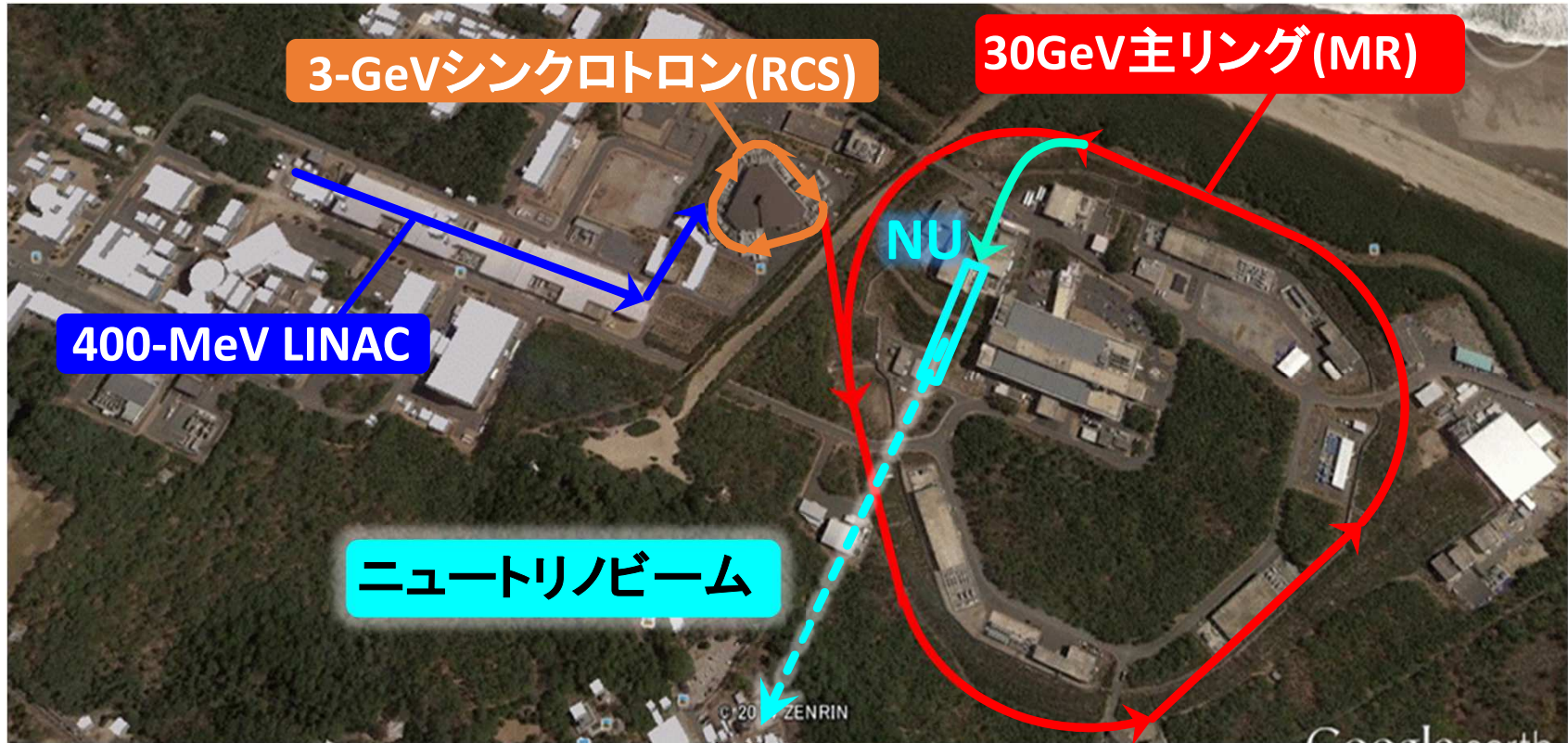
# J-PARC=Japan-Proton Accelerator Research Complex 2



MRのビームは1周分(5  $\mu$ 秒)の間にNUに送られる  
= 速い取り出し( Fast eXtraction )

# J-PARC=Japan-Proton Accelerator Research Complex

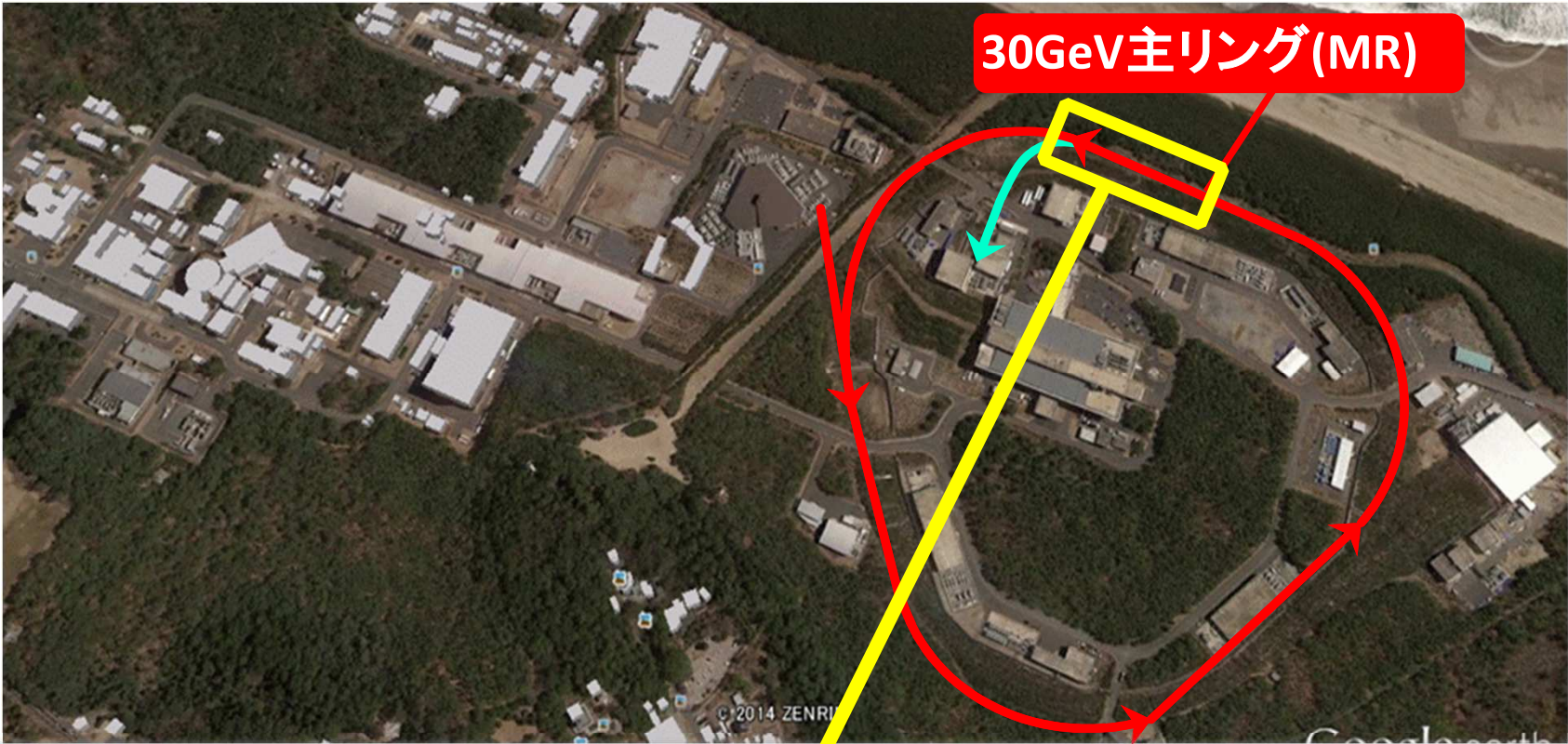
3



現在のNUへの  
供給ビームパワー — 最高 515kW → 1.3MWに増強



# MR NU用出射電磁石

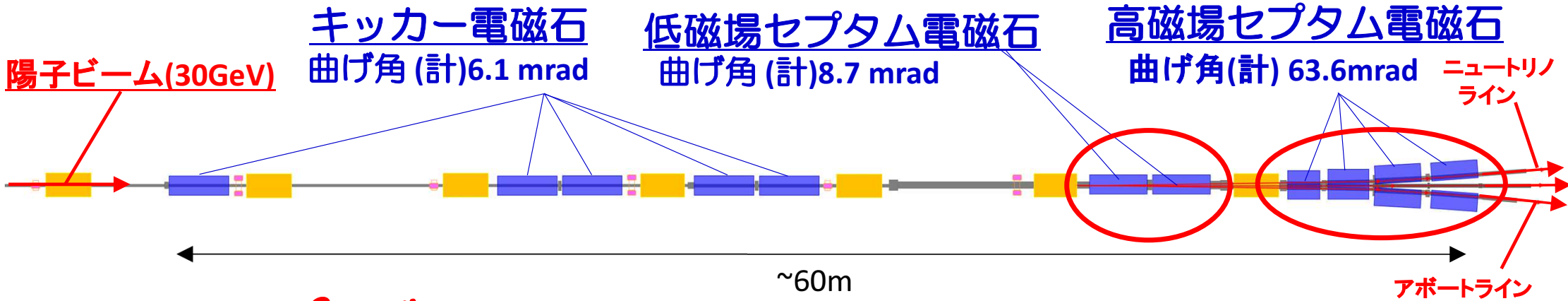


**NU用出射電磁石 = FX電磁石**  
**1.3MWに向けてアップグレード中. 来年夏 完了予定**

# FX電磁石とアップグレード

5

FX電磁石 = ニュートリノ/アポートラインへ取り出す



## アップグレード

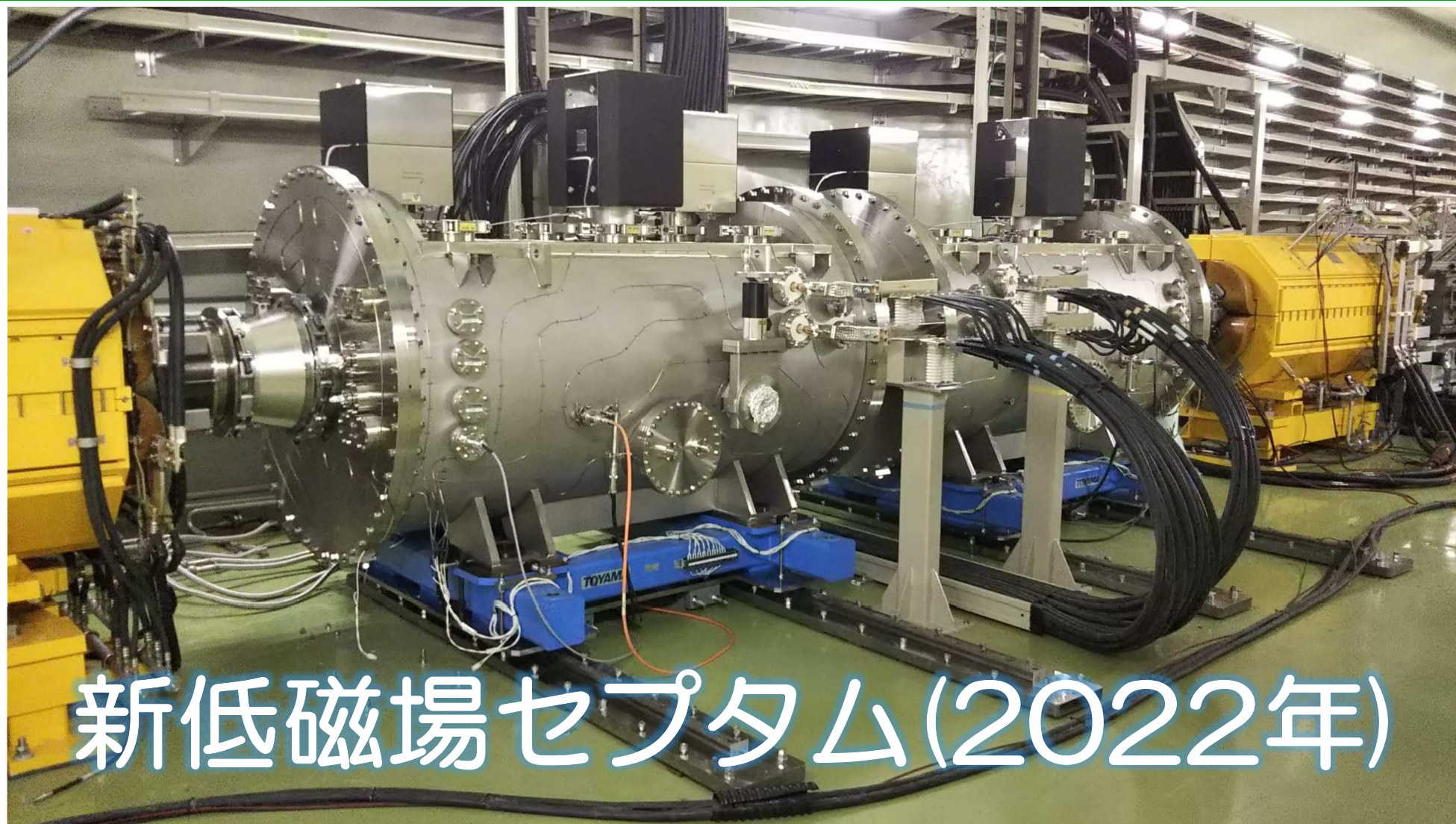
キッカー電磁石用電源改修

全セプタム電磁石の入れ替え



# 低磁場セプトラム電磁石の入れ替え

6



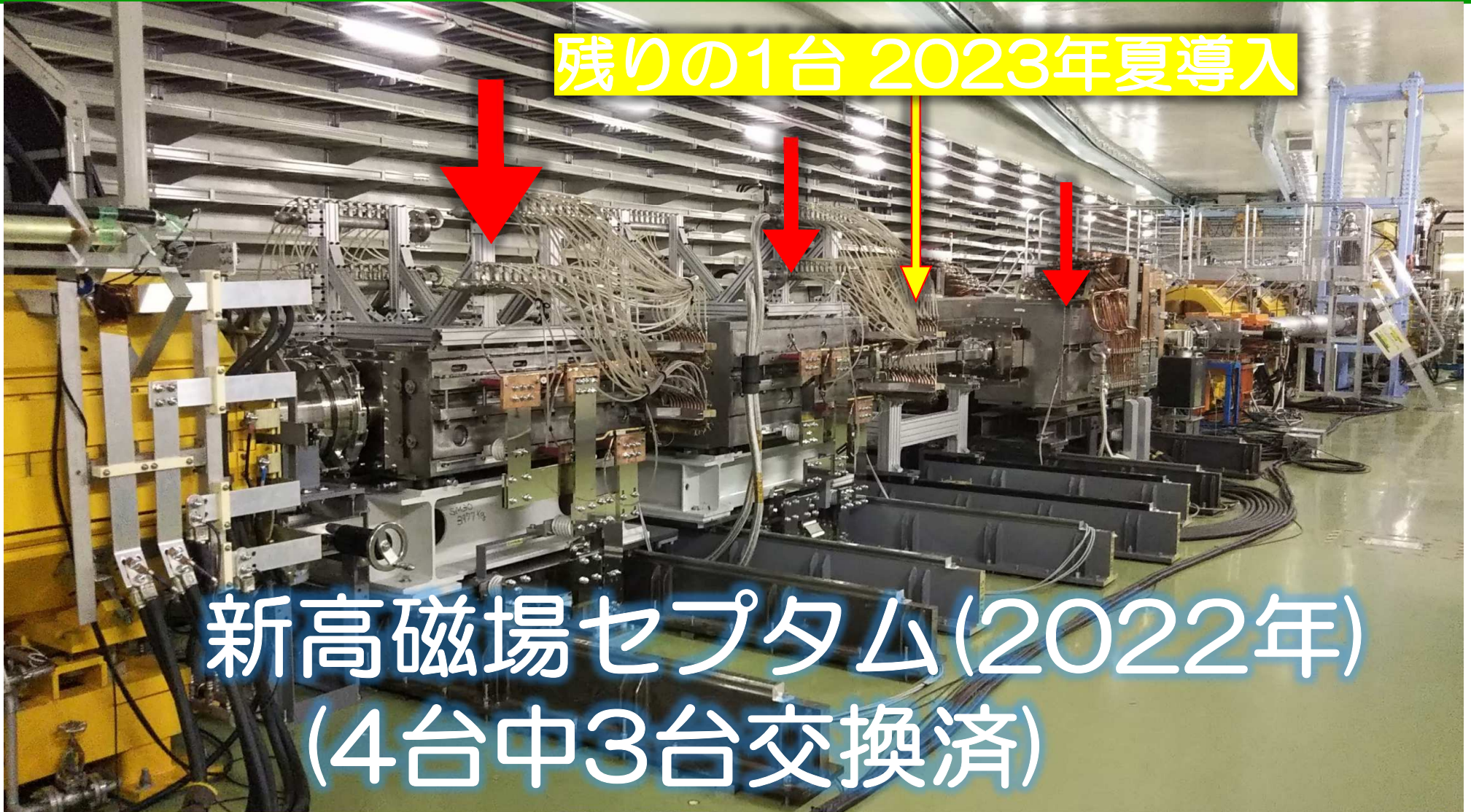
新低磁場セプトラム(2022年)



# 高磁場セプトラム電磁石の入れ替え

残りの1台 2023年夏導入

新高磁場セプトラム(2022年)  
(4台中3台交換済)



## 新セプタム電磁石の重要課題

周回ライン内への漏れ磁場を極力低くする

## 報告内容

新セプタム電磁石 と 漏れ磁場軽減対策  
最新の漏れ磁場測定結果

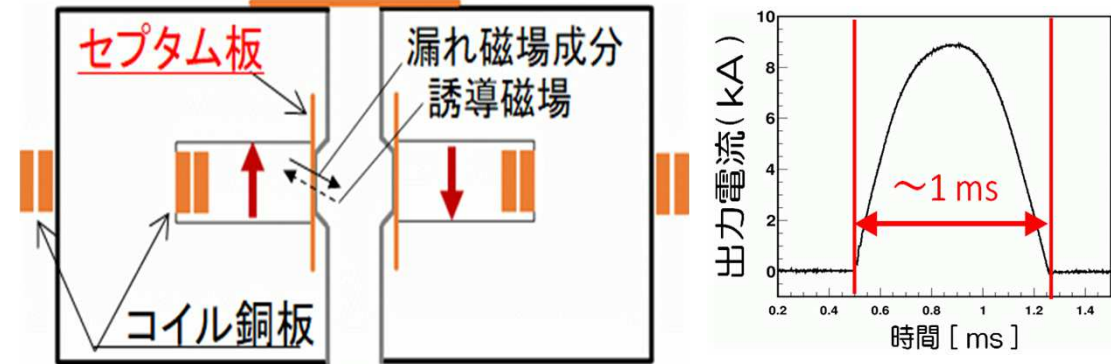
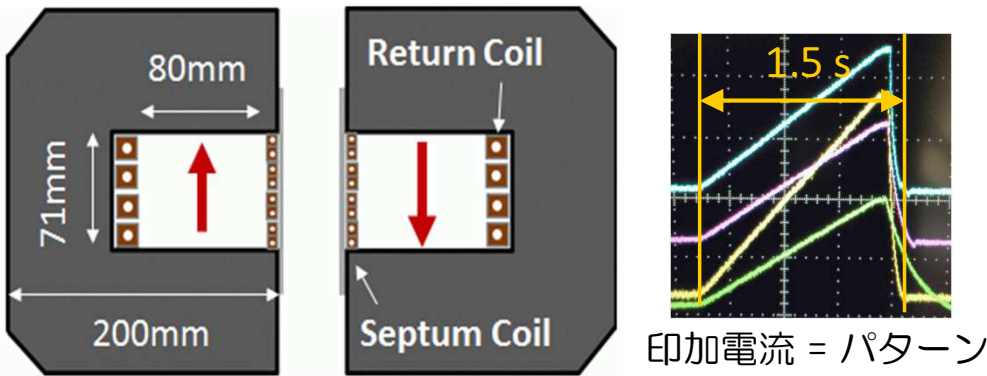
3GeV周回陽子ビームを使った漏れ磁場評価結果



# 低磁場セプタム電磁石

## 旧型 = 電流型セプタム

## 新型 = 渦電流型セプタム



### 3GeVビーム入射時の漏れ磁場

■  $K_1$ の積分値 ( $\equiv K_1L$ )  $\sim -10^{-3} \text{ m}^{-1}$

### 30GeVビーム取り出し時の漏れ磁場

■  $K_1L \sim -10^{-4} \text{ m}^{-1}$

■ 磁極端部に 最大 $\sim 50 \text{ Gauss}$

### 期待される漏れ磁場

■ ビーム取り出しのみ励磁  
入射+加速時の漏れ磁場はない

$$K_1L = 0 \text{ m}^{-1}$$

■ 渦電流による漏れ磁場打消し  
旧型の1/10の漏れ磁場

■ 磁極端部の磁場は大きい

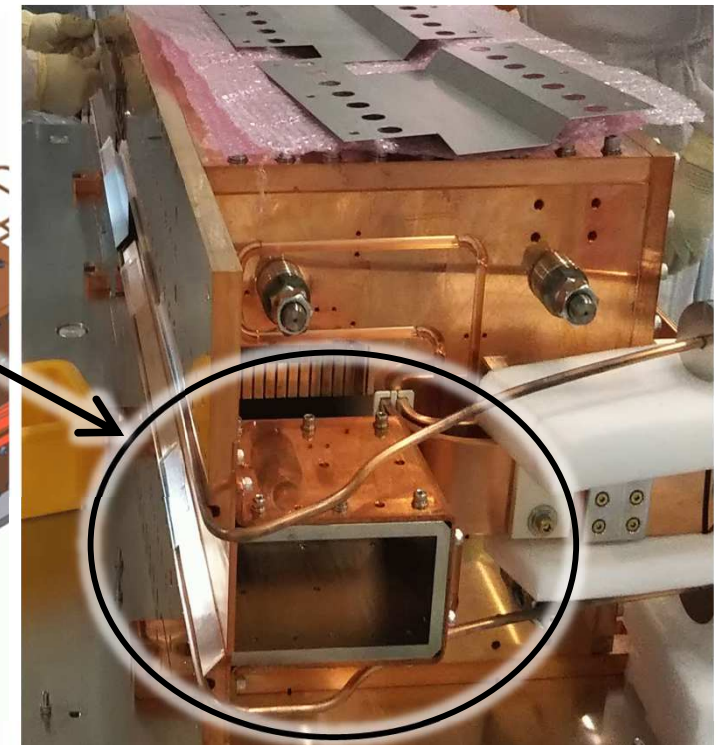
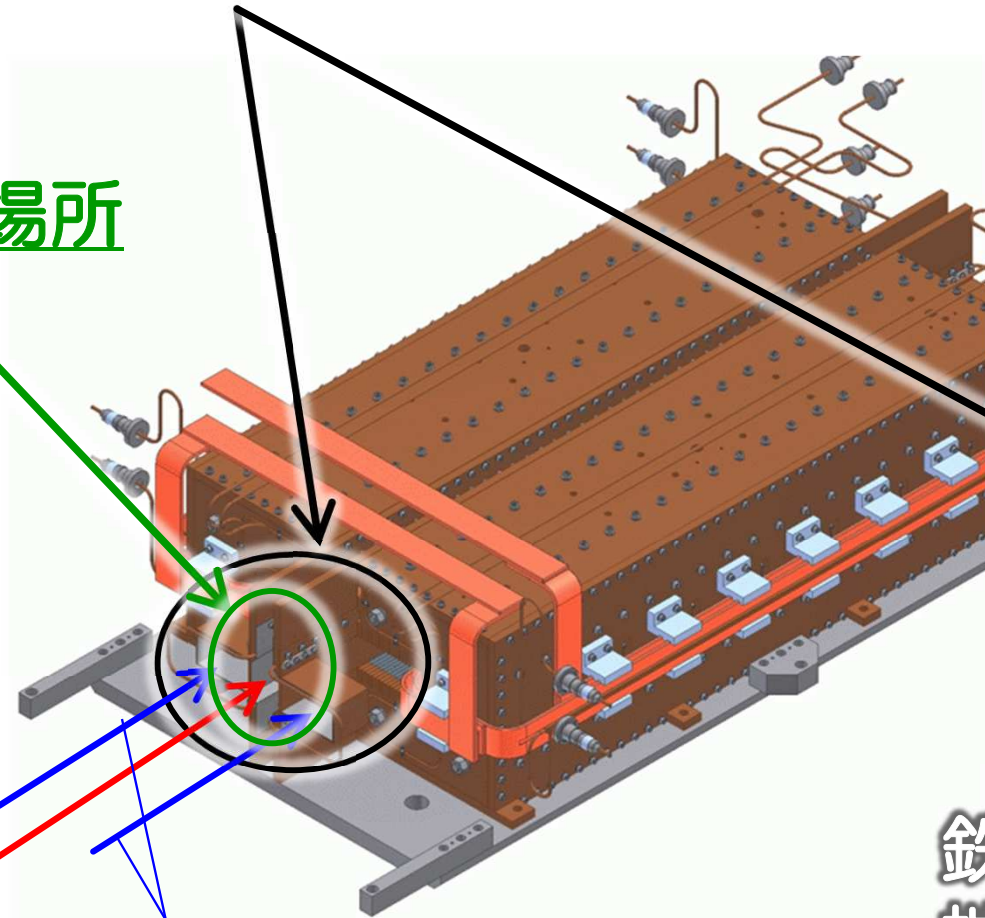
# 新低磁場セプトラムの漏れ磁場軽減対策

## ① フィールドクランプ 2012年の設計段階で導入

端部磁場の場所

周回ビーム

取り出しビーム



鉄&銅で端部を覆い  
端部磁場を1/10に軽減



# 新低磁場セプタムの漏れ磁場軽減対策

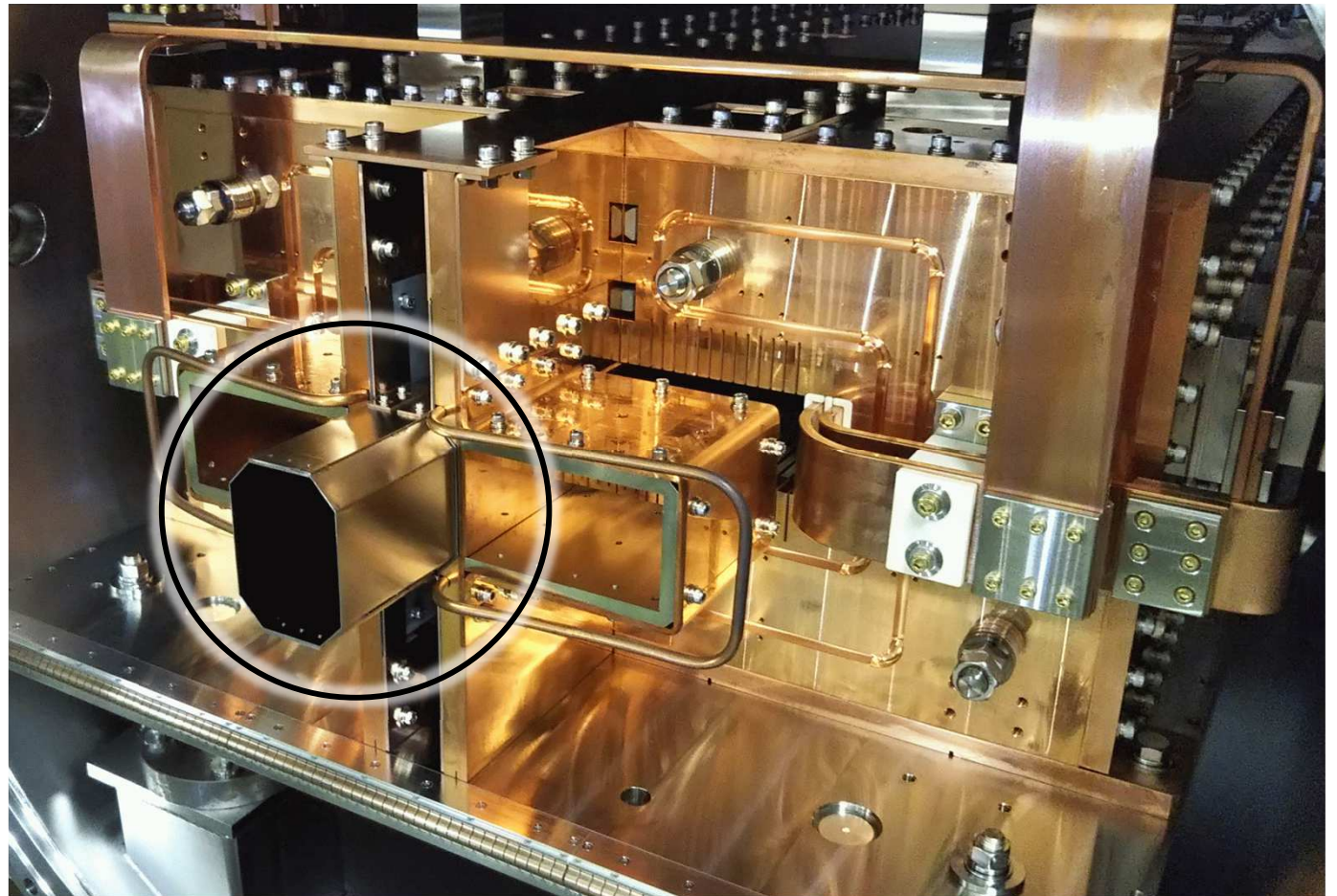
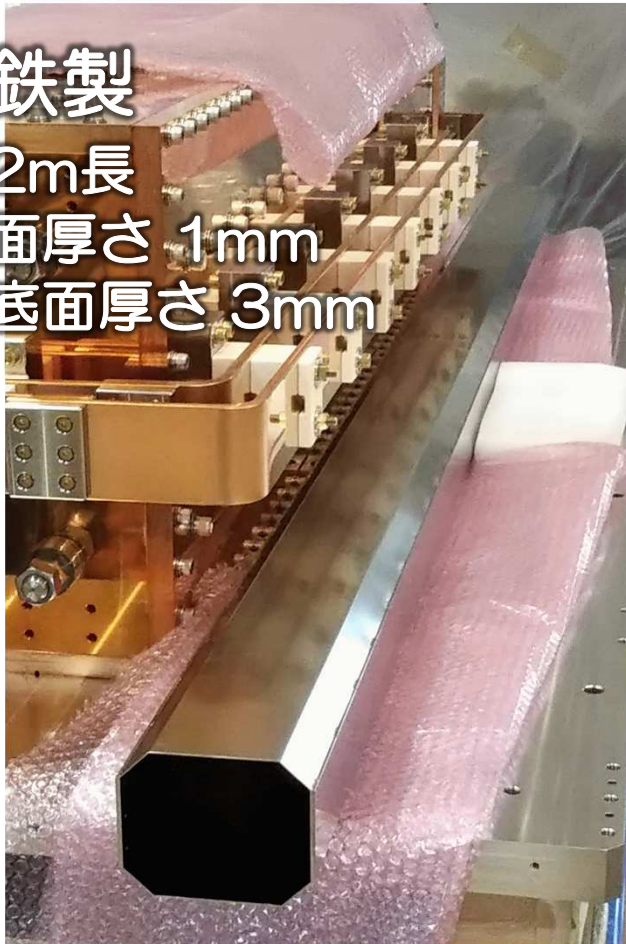
## ② ダクト型シールド 2021年新規導入

純鉄製

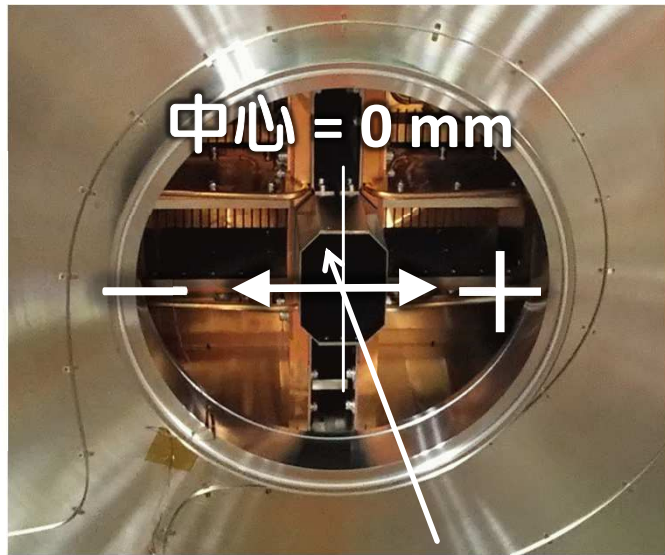
2.2m長

側面厚さ 1mm

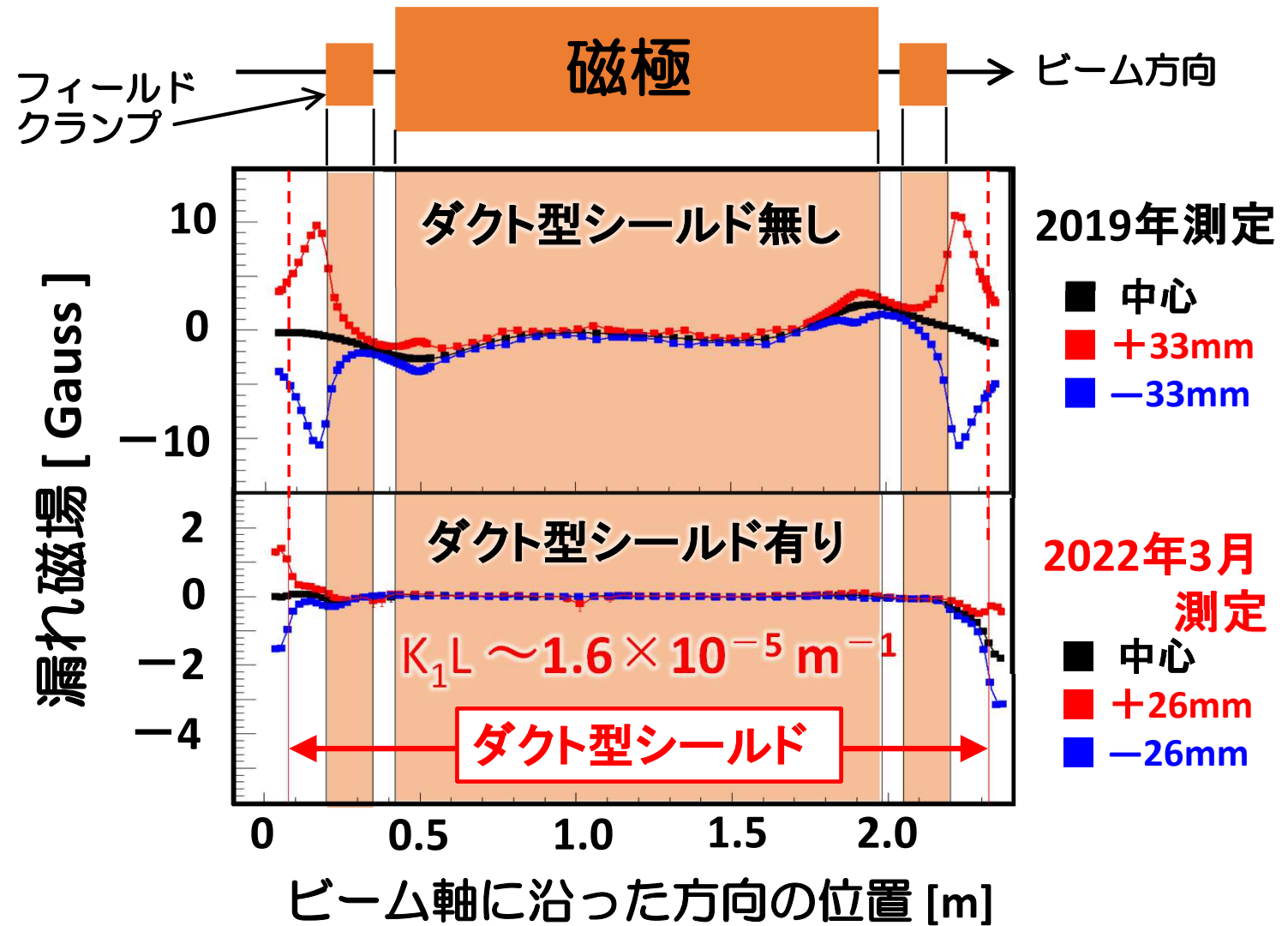
上底面厚さ 3mm



# 新低磁場セプタムの漏れ磁場測定結果



周回ライン上を  
ビーム方向に沿って  
垂直方向磁場を測定





# 高磁場セプタム電磁石

13

旧型 = 電流型セプタム



撤去後の写真

## 漏れ磁場

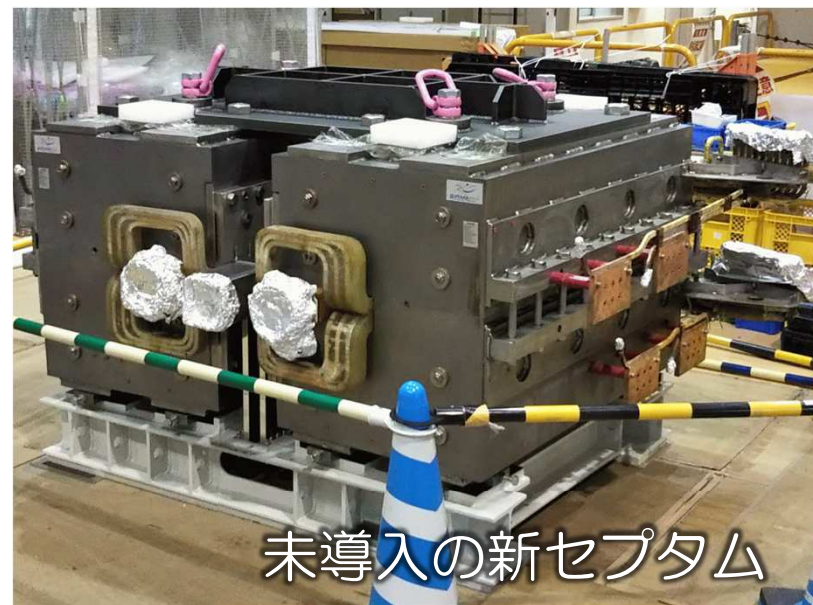
3GeV入射時 (測定値)

■  $K_1L \sim -2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$

30GeV取り出し時 (推定値)

■  $BL \sim 10 \text{ Gauss} \cdot \text{m} / 1 \text{ 台}$

新型も 電流型セプタム



未導入の新セプタム

漏れ磁場 (2020年時点での測定値)

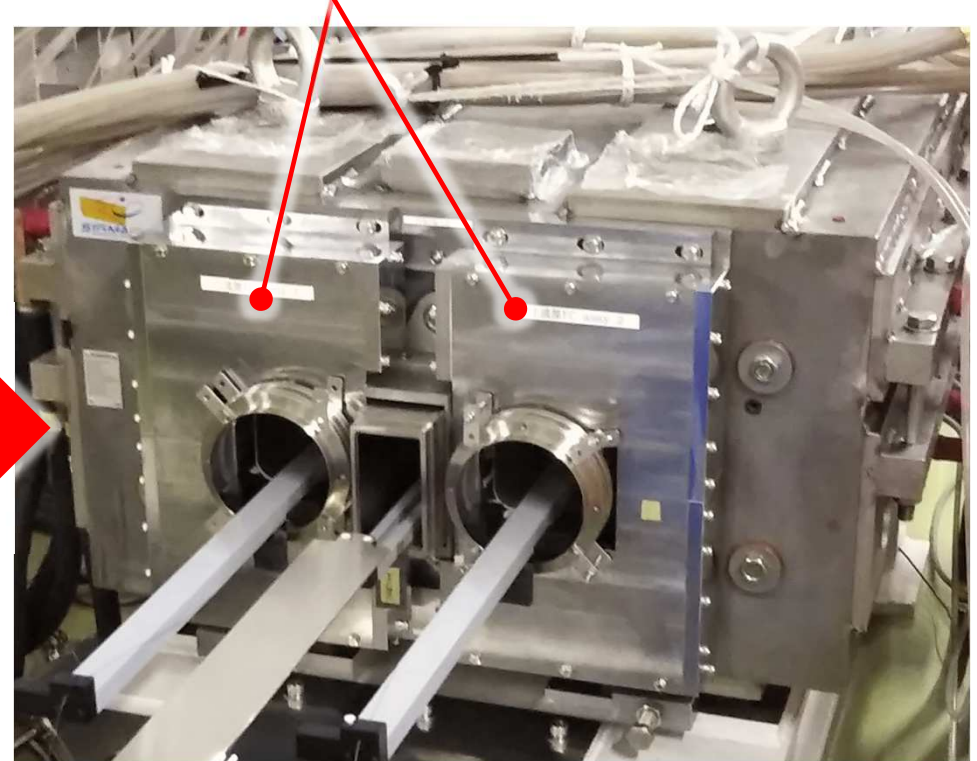
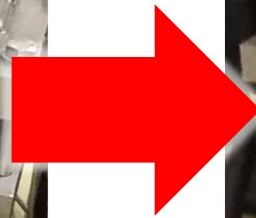
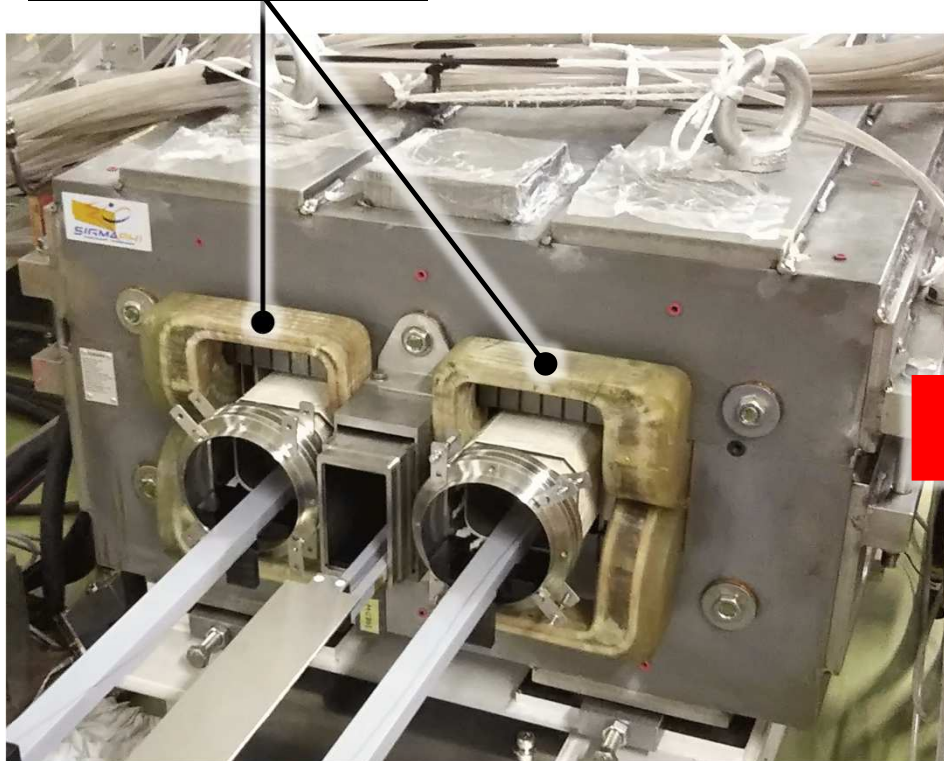
■  $BL \sim \text{数 Gauss} \cdot \text{m} / 1 \text{ 台}$

漏れ磁場が大きい箇所があり、  
磁気遮蔽の追加を行った。

# 高磁場セプトラム電磁石の漏れ磁場対策

14

- ① フィールドクランプ 2020年までに2台分に導入完了  
端部コイル = 漏れ磁場源      フィールドクランプ = 純鉄 (t15mm)



端部磁場を1/10程度に軽減できた

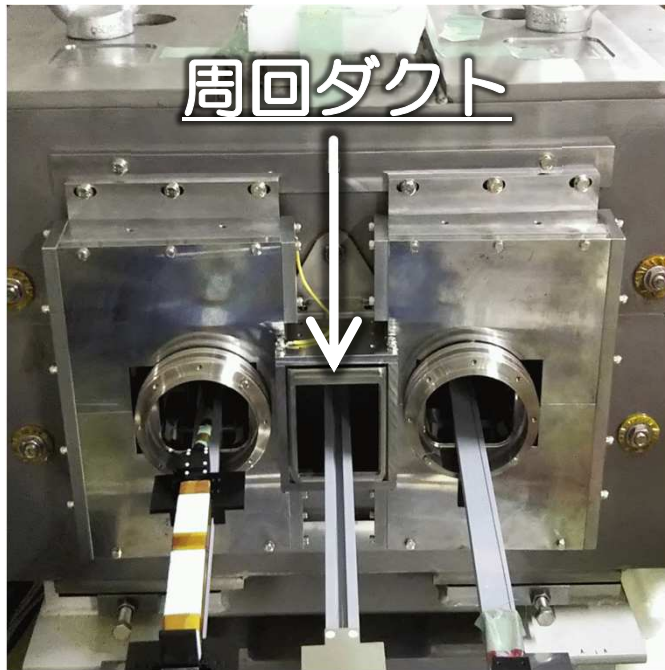


# 高磁場セプタム電磁石の漏れ磁場測定

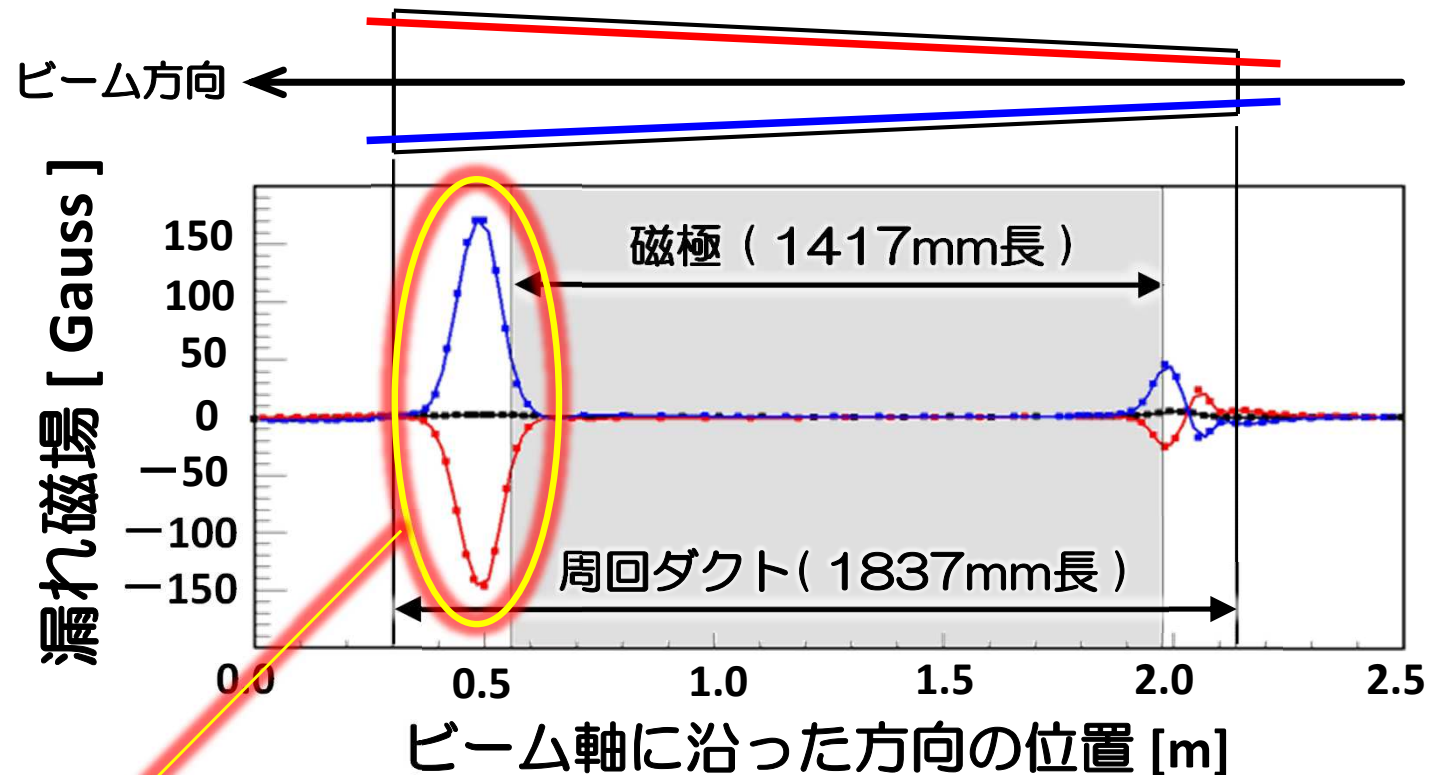
1台の新高磁場セプタムで、依然**端部磁場が大きかった**

2020年測定結果

周回ダクトの側面から**18mmの位置**の磁場を測定



垂直方向磁場を測定



**最大170 Gaussの漏れ磁場。**

**セプタム板の磁気飽和が原因。**

# 高磁場セプタム電磁石の漏れ磁場対策

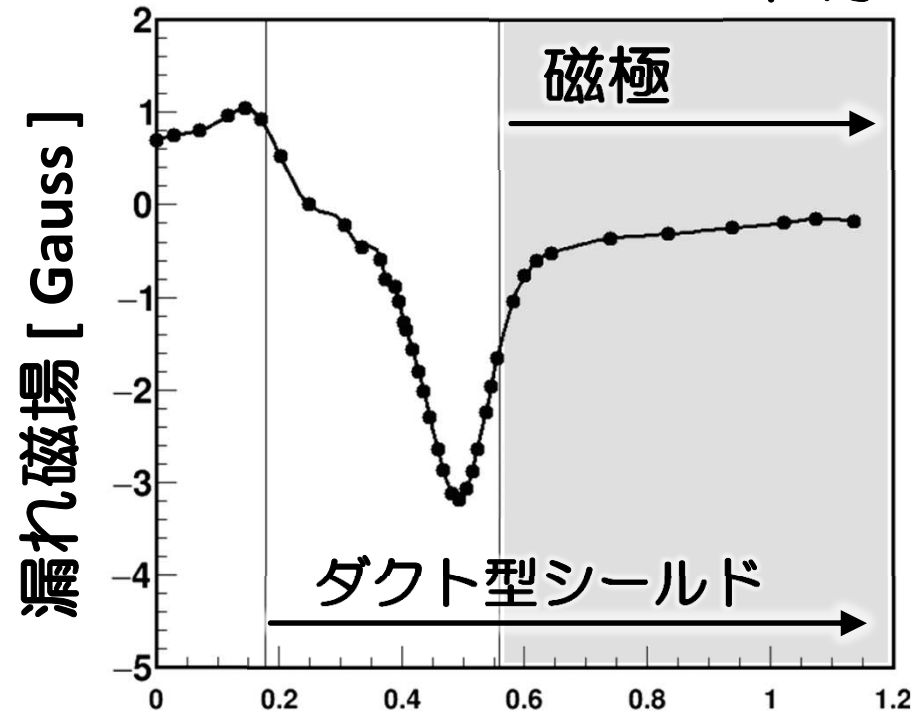
## ② ダクト型シールド 2021年度新規導入



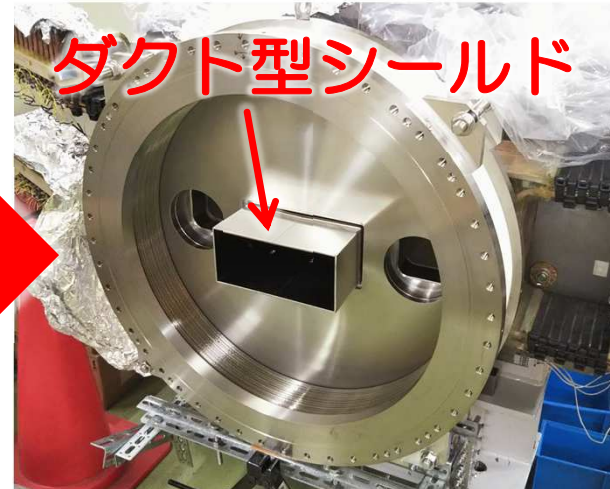
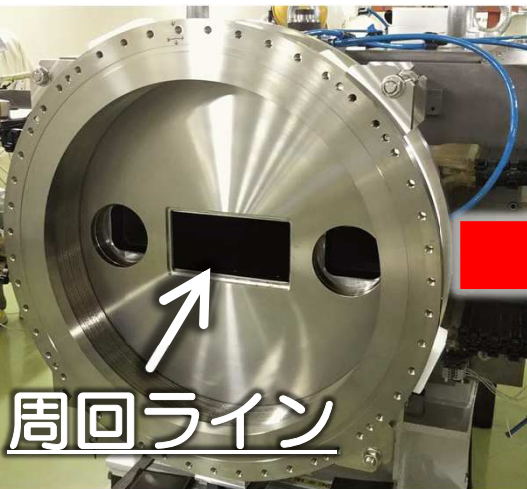
純鉄製  
長さ 2m  
板厚 3mm

← 同サイズの試験版

170Gauss 観測された付近のみを測定  
2022年5月



ビーム軸に沿った方向の位置 [m]



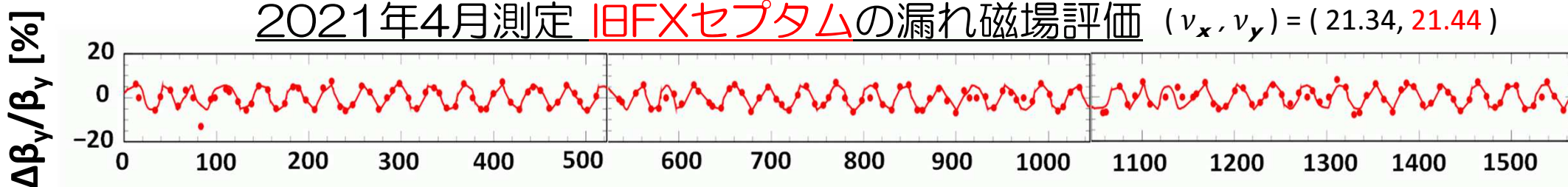
ダクト型シールド無しに対して約2%程度に軽減



# 漏れ磁場が3GeV陽子ビームに与える影響(ビームスタディ) 17

FXセプタムの通電の有無の差から得るベータ変調( $\equiv \Delta \beta_y$ )からFXセプタムの漏れ磁場成分の $K_1L$ を測定する。

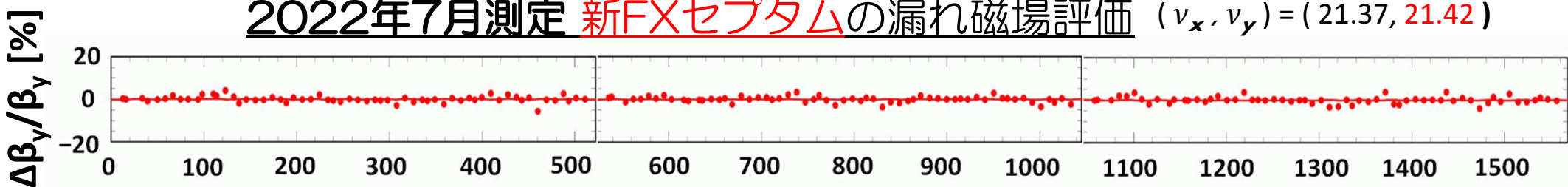
2021年4月測定 旧FXセプタムの漏れ磁場評価 ( $v_x, v_y$ ) = (21.34, 21.44)



ビーム軸方向の位置 (= s) MR 1周分 [m]

$$K_1L = -2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

2022年7月測定 新FXセプタムの漏れ磁場評価 ( $v_x, v_y$ ) = (21.37, 21.42)



ビーム軸方向の位置 (= s) MR 1周分 [m]

$$K_1L < -1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1} \quad \text{旧FXセプタムの1/10以下の影響}$$

## まとめ

**FXセプタム電磁石アップグレード中 2023年完了予定**

### 新FXセプタム電磁石の漏れ磁場

- **フィールドクランプとダクト型シールド**

低磁場セプタム 旧セプタムの1/10に軽減

高磁場セプタム 旧セプタムの $<1/10$ に軽減. 全範囲は未測定

- **3GeV陽子ビームへの漏れ磁場の影響**

旧セプタムの $1/10$ 以下 ( $K_1L < 1.5 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$ )

## 今後

**高磁場セプタムの漏れ磁場の全範囲測定**