

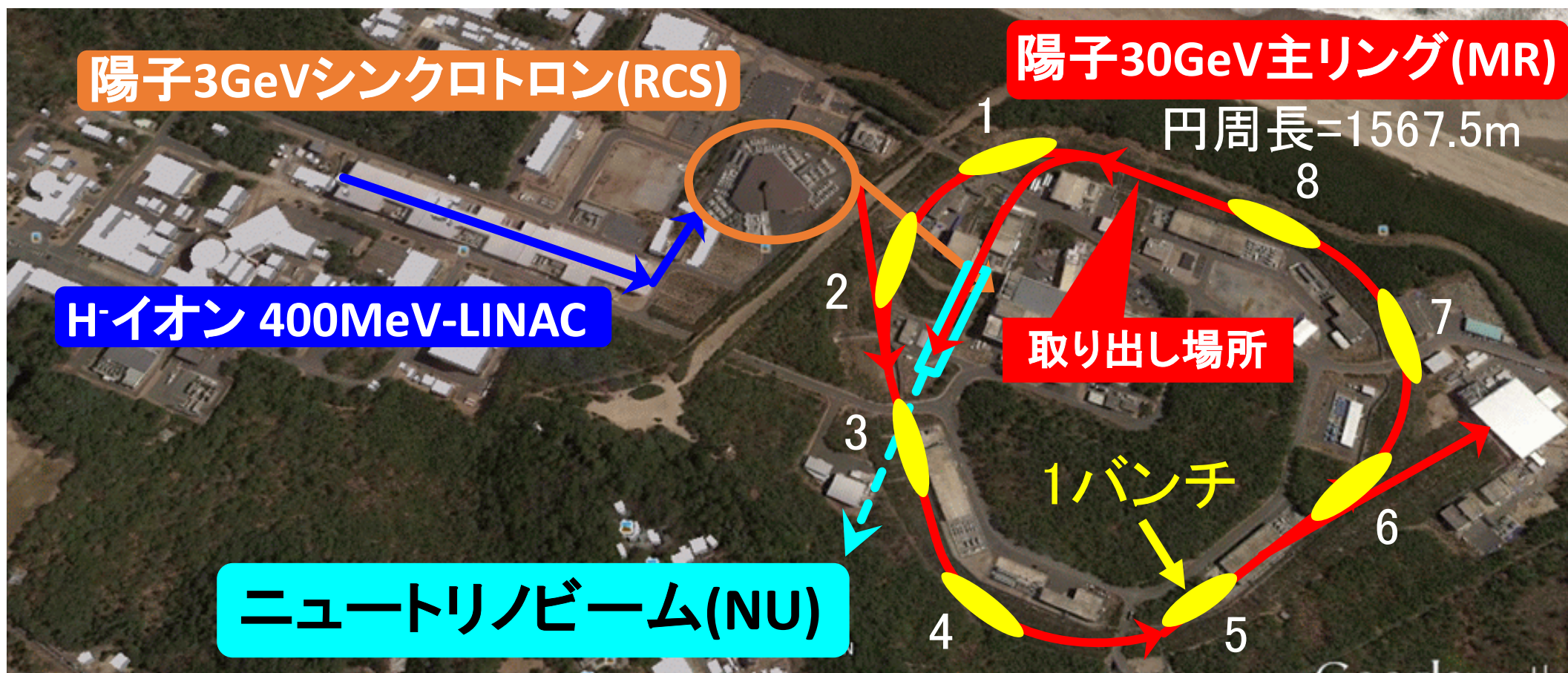
J-PARC-MRアップグレードのための 新しい速い取り出し用低磁場セプタム電磁石 の性能評価

芝田達伸

川口祐介、石井恒次、Kuanjun Fan、杉本拓也、松本浩
KEK、ニチコン(株)

2014年8月10日(日)
電磁石 SUOL-01

J-PARC=Japan Proton Accelerator Research Complex 2

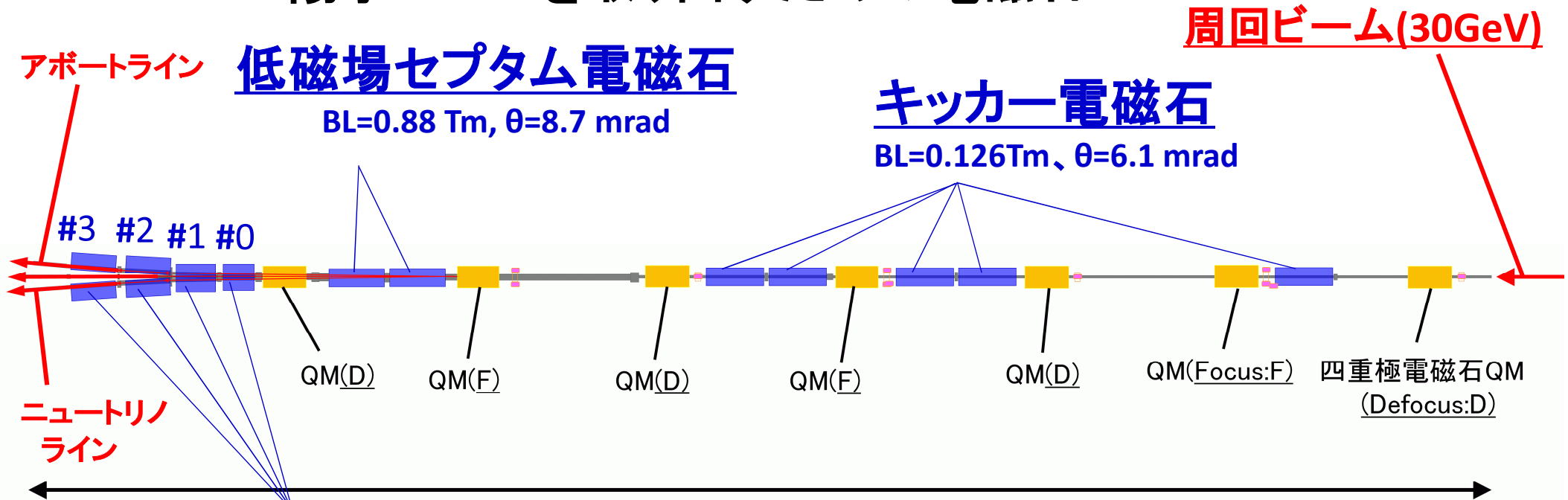


MR内の8バンチを1周分($\sim 5 \mu$ 秒)の間にNUに送る=速い取り出し

30GeV陽子ビームの最高電力 **240kW** 目標電力750kW
= 8バンチの全陽子数 \times 30GeV \times 1.6×10^{-19} (J/eV)/周期 2013年5月 2017年までに到達

MRの高繰り返し化 (周期2.48秒 \rightarrow 1秒)

周回軌道からニュートリノ/アポートラインへ
陽子ビームを取り出すための電磁石



高磁場セプタム電磁石 ~63m

	#0	#1	#2	#3
BL (Tm)	1.17	1.75	1.81	1.81
θ (mrad)	11.4	17	17.6	17.6

現行機は1Hzに未対応

→ 1Hzと大強度対応のため新規機を開発中

新しい速い取り出し用 低磁場セプタム電磁石/電源

性能評価

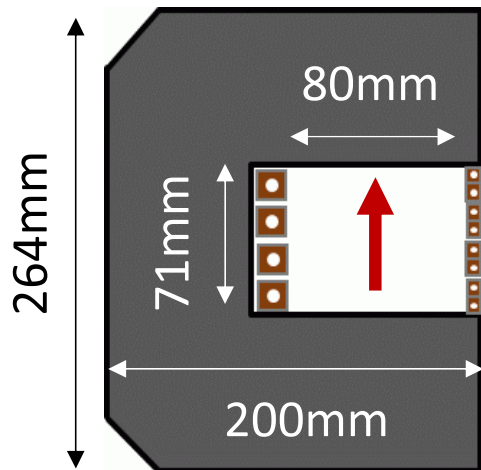
出力磁場測定の現状

低磁場セプタム電磁石用真空槽(2台)

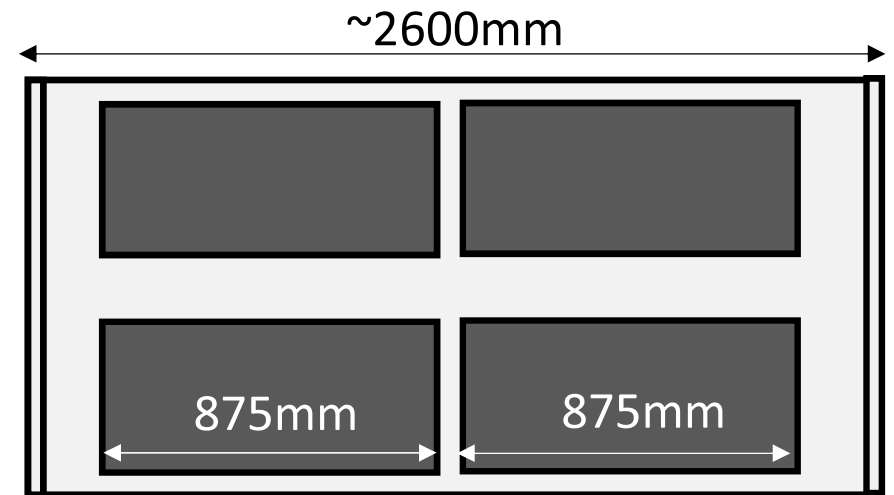
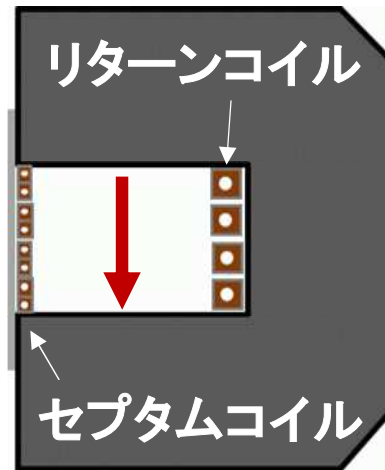


5.2m

1台の真空槽の中に4台の片極性電流型セプタム電磁石



ビーム軸方向の断面図

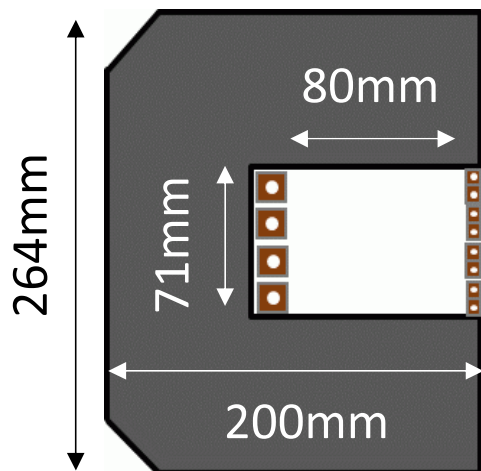


垂直方向からみた図

低磁場セプタム電磁石用真空槽(2台)



5.2m



磁極開口部

80mm(H) × 71mm(V) = 小さい → 大きくする

コイル

ホローコンダクタ

= セプタムコイルの絶縁部が
振動に弱い → 根本解決必

周回軌道への漏れ磁場

磁極内の $\sim 10^{-3}$ ($\sim 2.3\text{G}$) = まだ大きい → 軽減

製作電磁石は**2台** (現行機**4台分**を**1台**にする)

2015年夏、MRにインストール予定

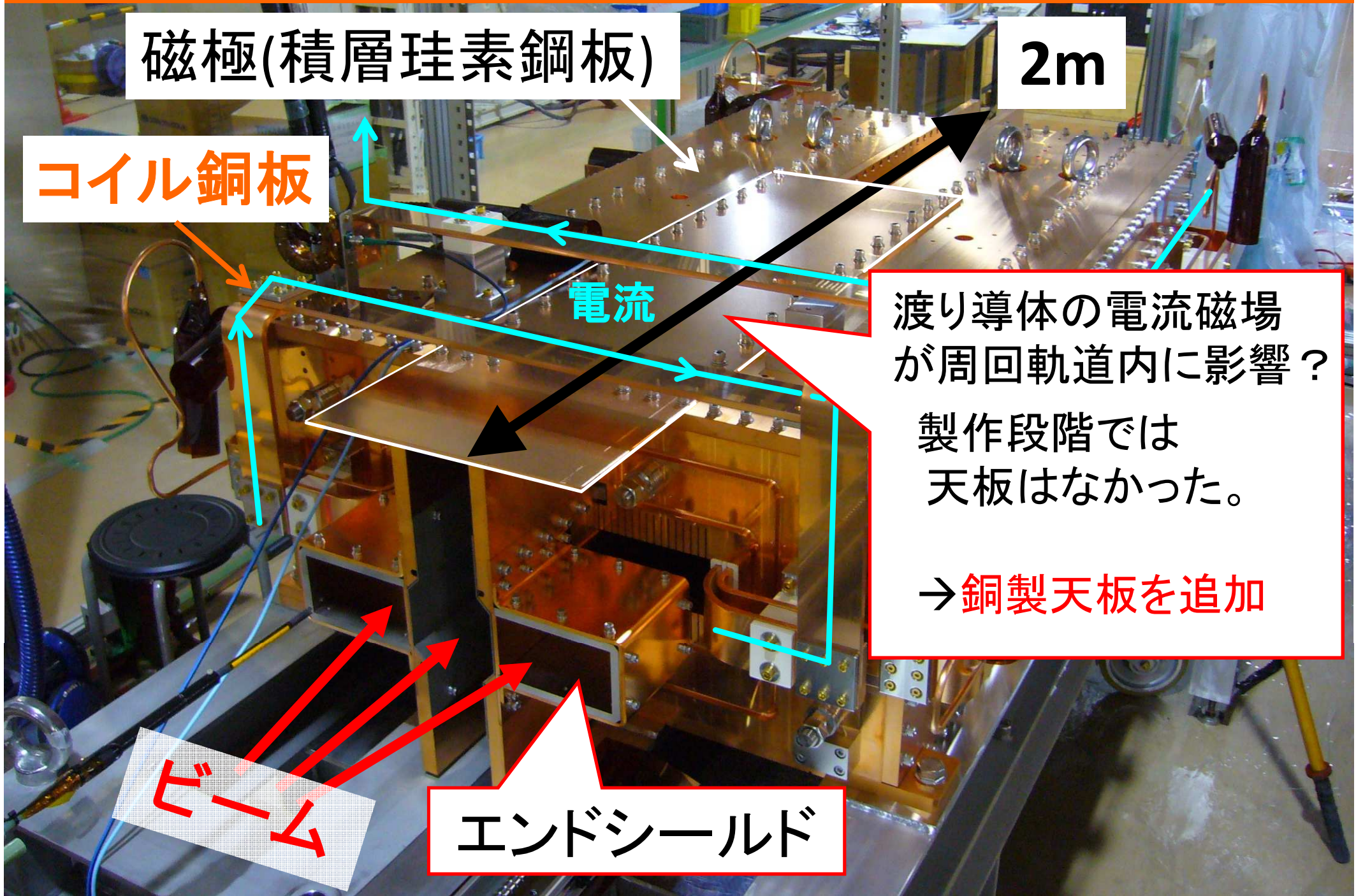
特徴

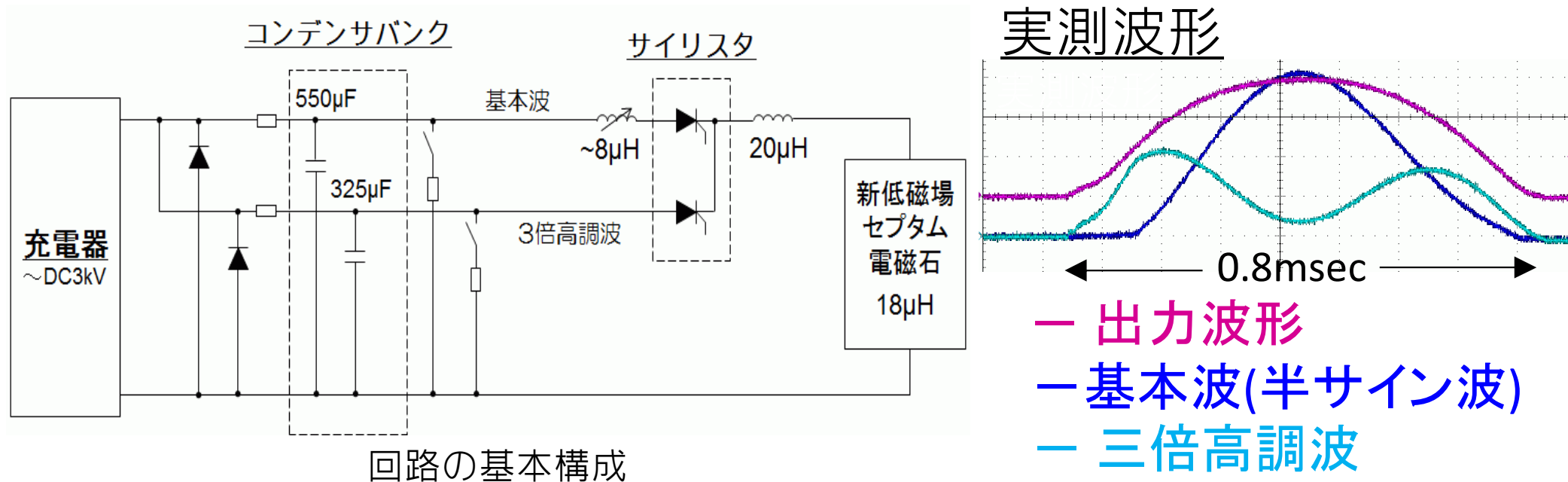
- 定格出力磁場 ~ 0.3 Tesla (BL積/2台=4.35mrad)
- Eddyカレント型(**渦電流誘導型**)
セプタムコイル無し → **根本解決**
薄いセプタム板(~t7mm)
- 小さい漏れ磁場 = 10^{-3} → **10^{-4}**
- 開口部の拡大 = 80mm(H)x71mm(V) → **140mm(H) × 80mm(V)**
開口部からの漏れ磁場軽減のため**エンドシールド設置**
- 発熱量が小さくなる。

製作状況

2012-2013年 **先行機**として1台を製作した

新しい低磁場セプトラム電磁石





■ 定格6.6kV × 11kAのパルス出力

波形=半サイン波、時間幅~0.8msec、FlatTop(FT)=10μsec

三倍高調波を重ねる事でFTの平坦度を 10^{-4} にする

■ サイリスタのスイッチタイミング調整による出力波形の微調整可

■ 充電電圧と出力波形の追従により再現性の精度は 10^{-4}

製作状況

2012-2013年に製作済

現在制御盤の改修中。(連続運転はできない)

性能評価項目

■ 周回軌道上への漏れ磁場測定

渡り導体の影響と天板シールド効果確認

位置依存性(水平、垂直、軸方向)

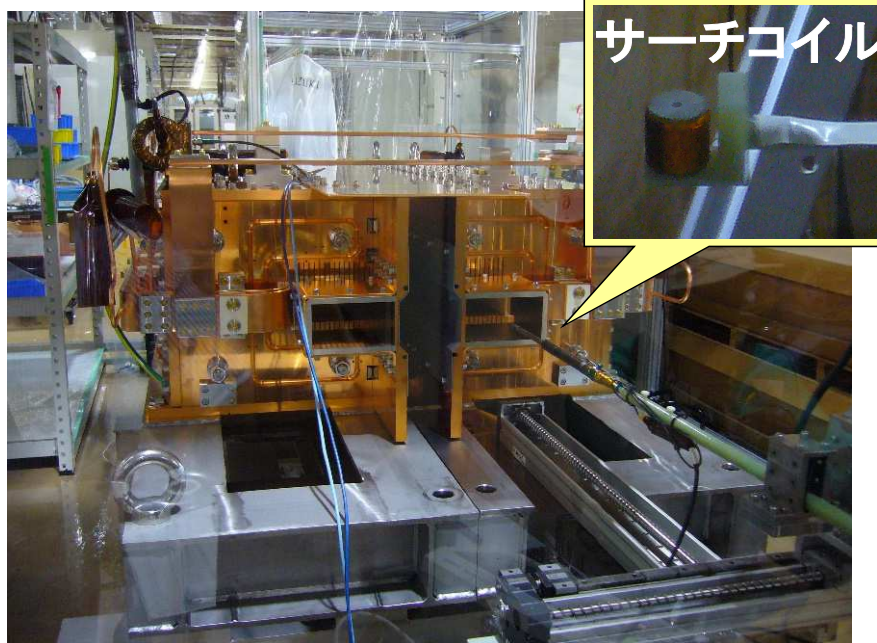
■ 磁極内磁場測定

位置依存性(水平、垂直、軸方向)

両磁極の対称性

FTの平坦度測定

■ 連続運転での磁場の再現性



測定方法

磁気センサー=サーチコイル
フラットトップ(FT)磁場(B_{FT})の測定

$$B_{FT} = \frac{1}{NS} \int_0^{t_{FT}} V(t) dt$$

t_{FT} : FTの時間
 NS : サーチコイルの巻き数 × 断面積
 $V(t)$: サーチコイルの出力電圧波形

■ サーチコイル

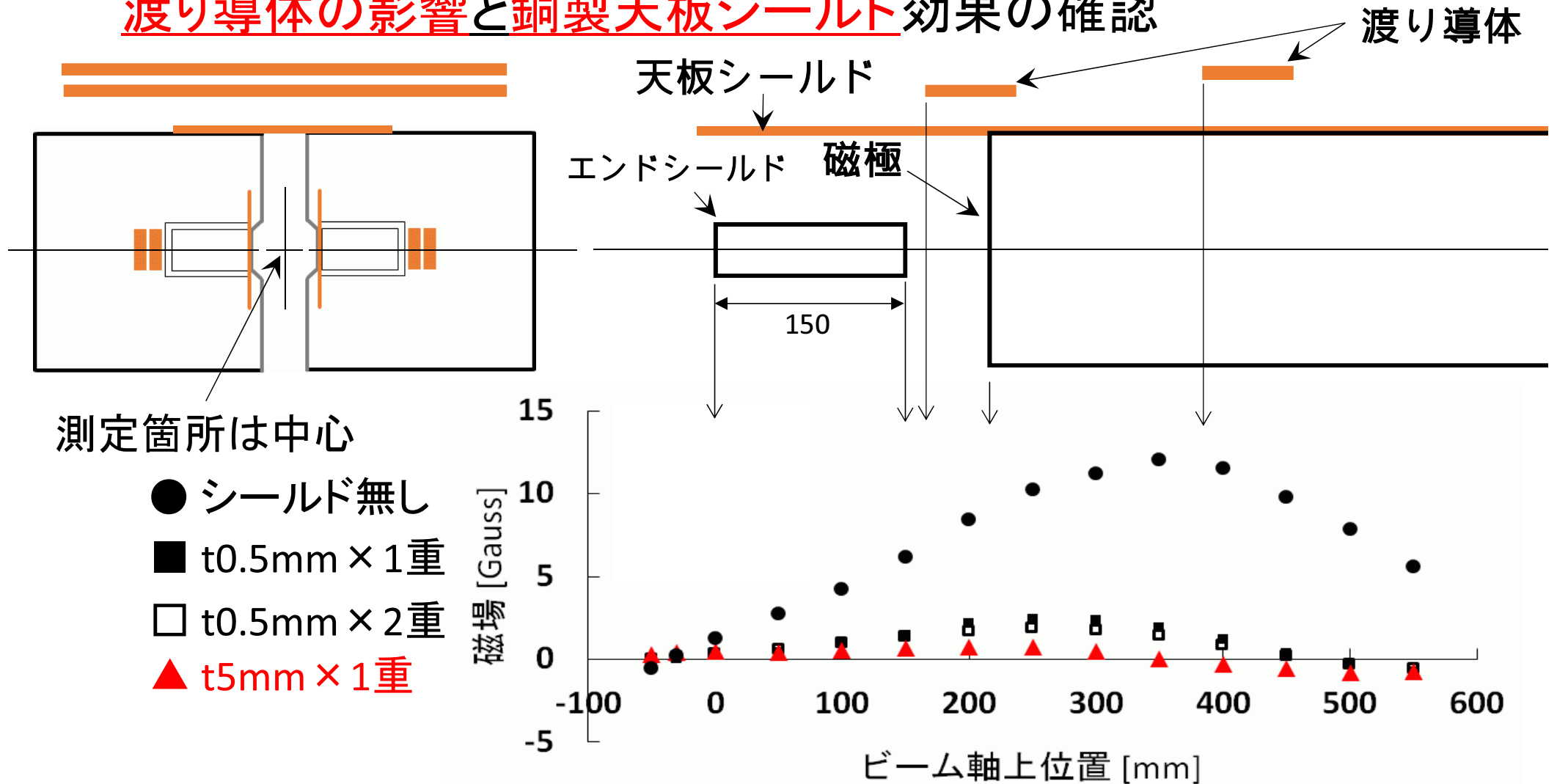
漏れ磁場と磁極内磁場測定で2種のサーチコイルを使い分る

■ オシロスコープ(LeCroy製)と測定精度

	型	垂直分解能(精度)
漏れ磁場	WaveRunner6030	8bit (0.4%) = (1 ± 0.004) Gauss
磁極内磁場	HRO66Zi	12bit (0.02%) = (3000 ± 0.7) Gauss

■ 周回軌道上の磁場測定 = 漏れ磁場測定

渡り導体の影響と銅製天板シールド効果の確認

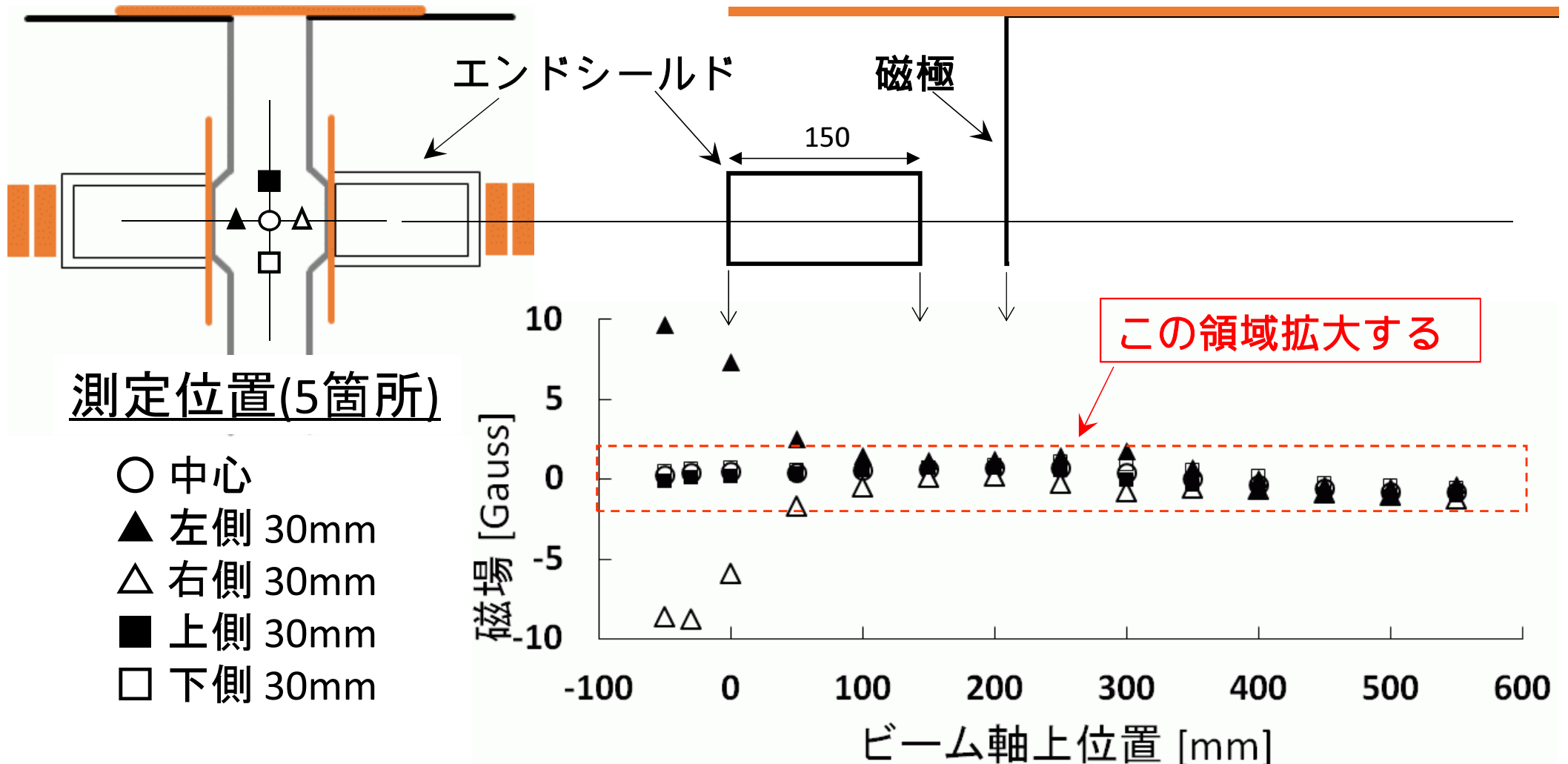


結果 1 : 渡り導体の電流磁場の影響は大きく無視できない

結果 2 : 天板銅板はt5mmが最も良い (≤1Gauss)

■ 周回軌道上の磁場測定 = 漏れ磁場測定

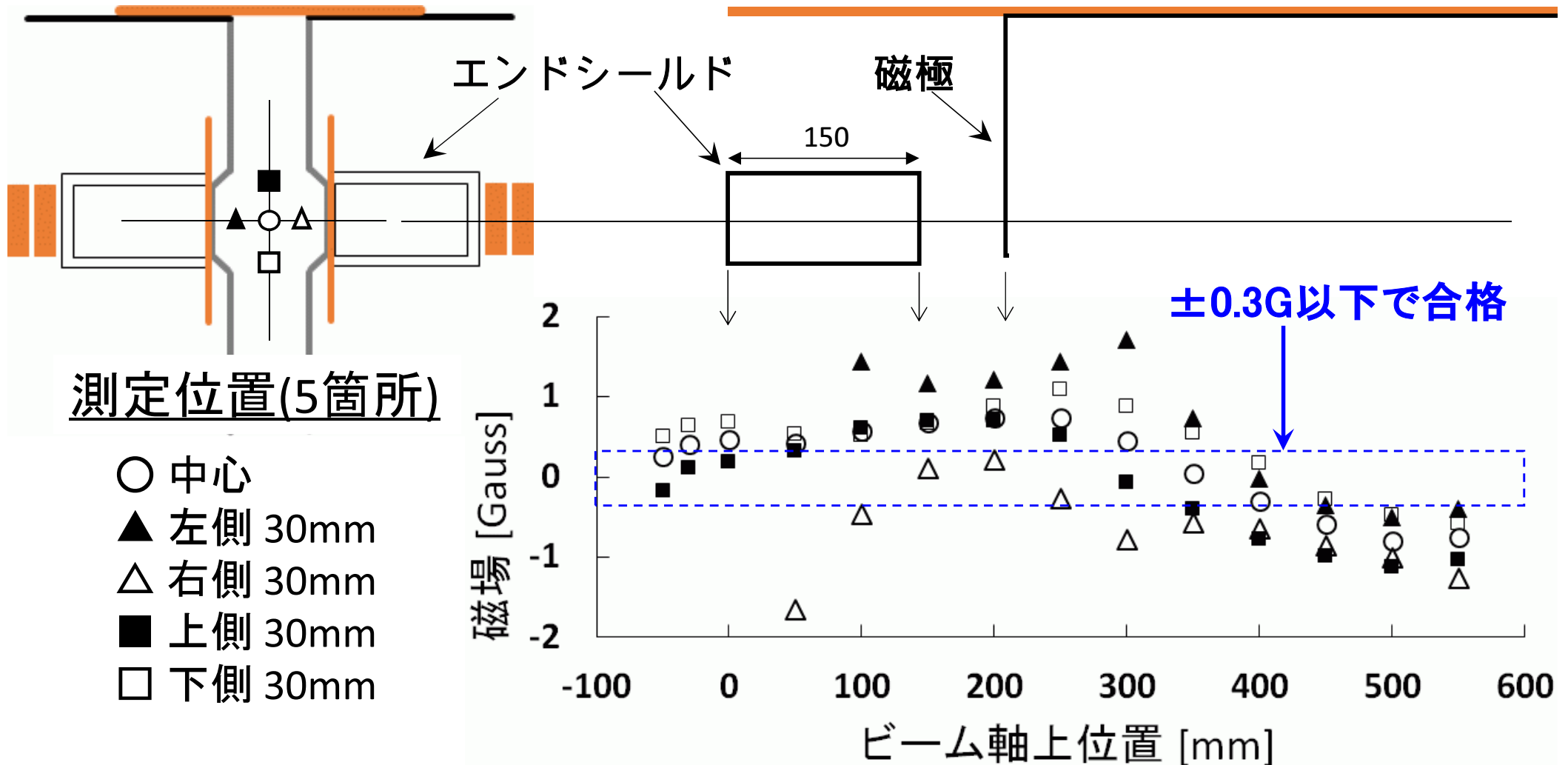
位置依存性(水平、垂直、軸方向) 天板シールド[†]t5mm使用



結果1: 左右側でエンドシールド外に~10Gaussの漏れ磁場有り→遮蔽必

■ 周回軌道上の磁場測定 = 漏れ磁場測定

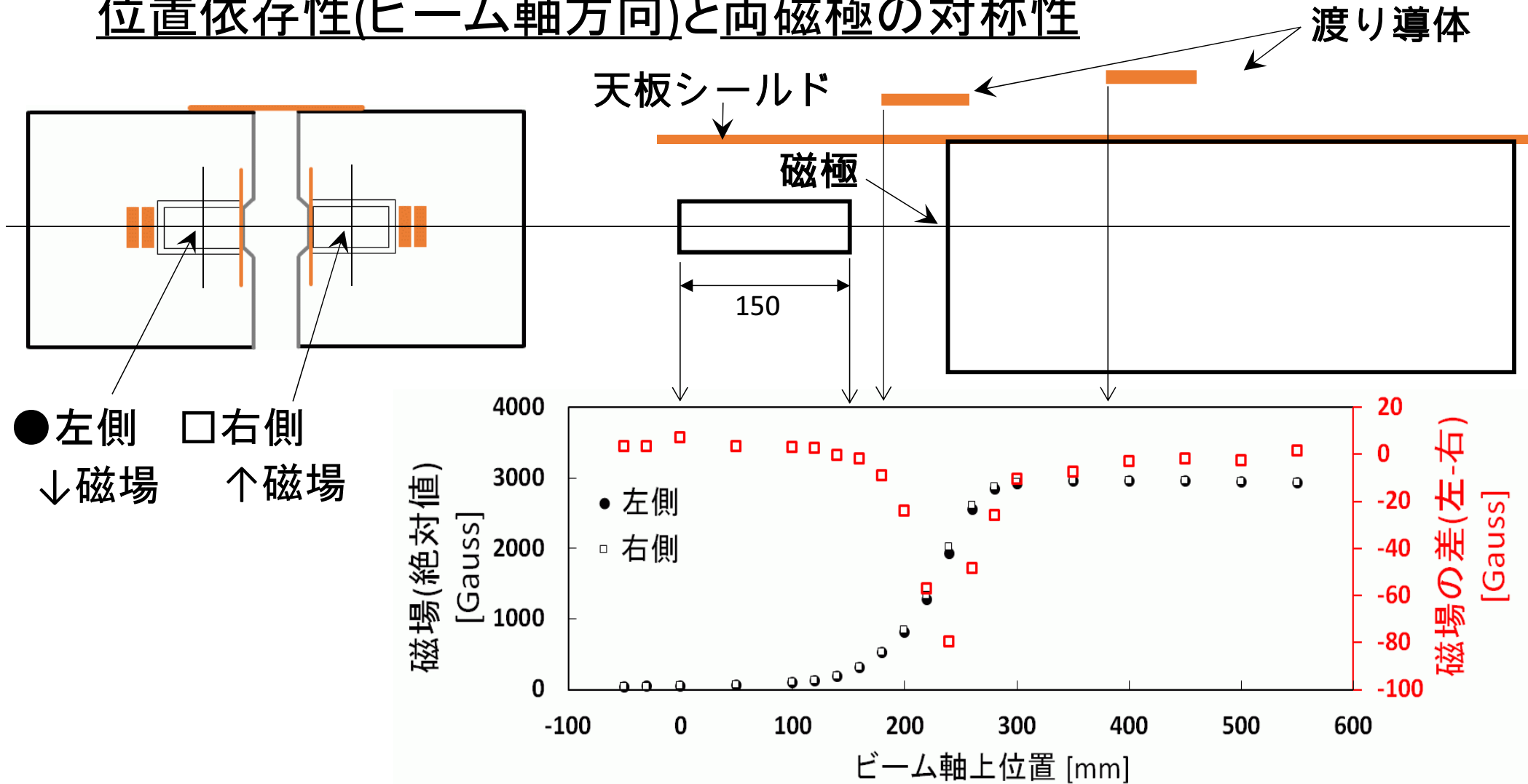
位置依存性(水平、垂直、軸方向) 天板シールド[†]t5mm使用



結果: 0.3 Gauss(10^{-4})以上の箇所があり、構造もある

■ 磁極内中心位置の磁場測定 出力電圧x電流 = 3kV × 9kA

位置依存性(ビーム軸方向)と両磁極の対称性



結果1: >350mmの位置で両方2950±20(=0.7%) Gauss。但し誤差大
結果2: 部分的に非対称性 = 240mm付近で最大80Gaussの差

MR 750kWに向けて

新速い取り出し用低磁場セプタム電磁石を製作

磁場測定

結果1 渡り導体で発生する磁場の遮蔽が必要

結果2 エンドシールドの外側に~10Gaussの磁場あり、
更なる遮蔽が必要

結果3 漏れ磁場に位置依存性あり、 $>10^{-4}$ の場所もある。

結果4 磁極内磁場は一定になるが、測定誤差が大。

結果5 左右の磁極で非対称な磁場あり。

今後

今回見つけた問題の原因理解と解決

連続運転での磁場の再現性、FT平坦度の評価