

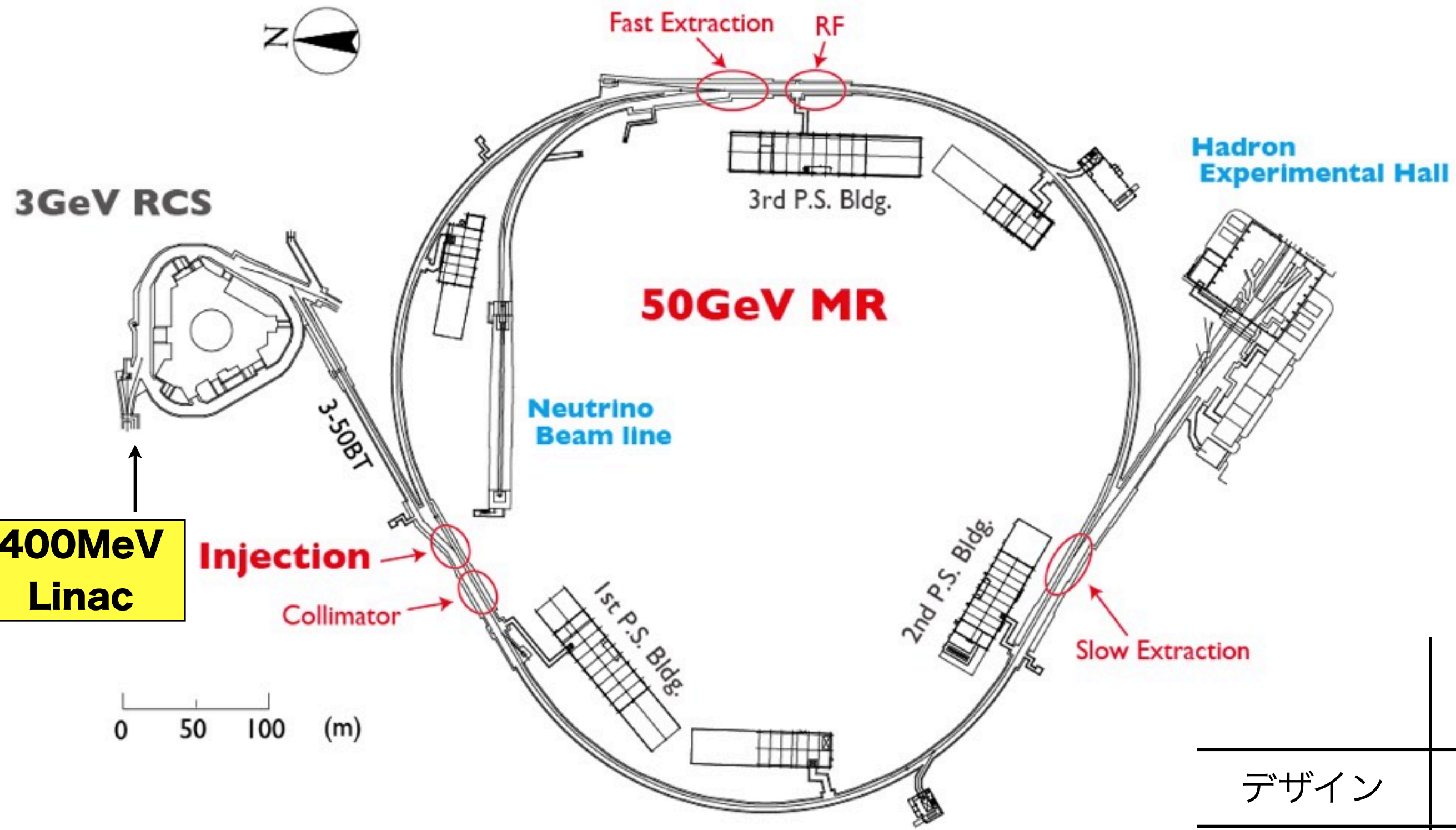
J-PARC メインリング

入射補正キッカー電磁石の性能評価

杉本拓也 (KEK)

石井恒次、Fan Kuanjun、松本浩、外山毅

J-PARC Main Ring (MR)



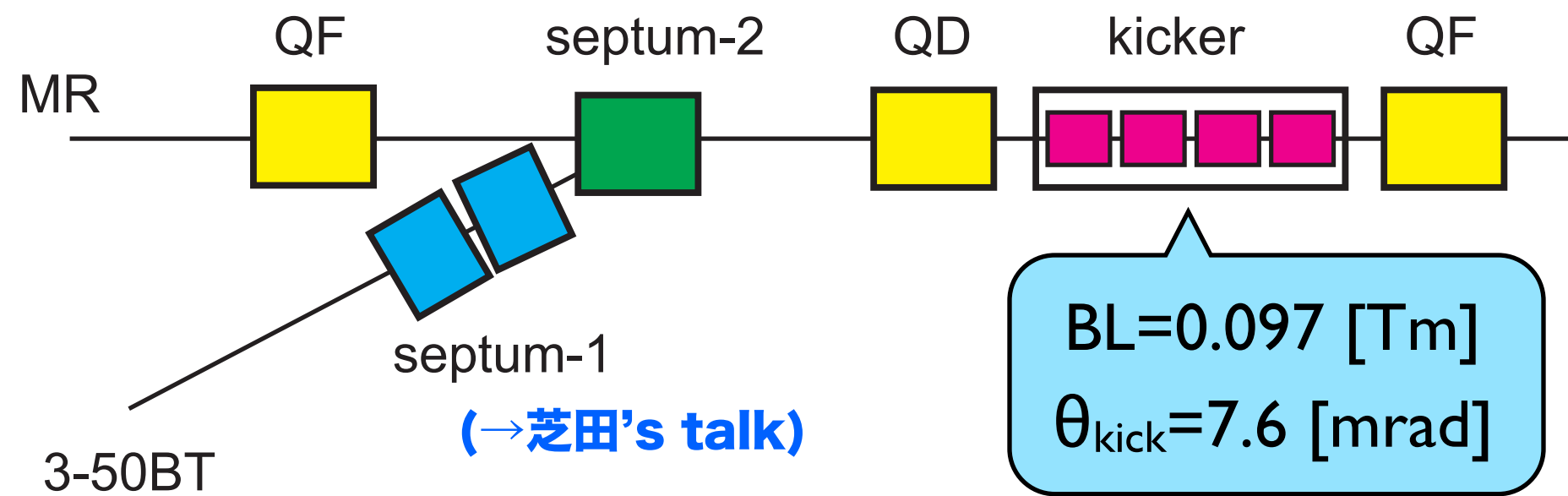
Circumference	1567.5 m
Superperiodicity	3
Number of bunches	8
Harmonic number	9
RF frequency	1.67 - 1.72 MHz
Transition γ	j 31.7 (typical)
dipole	96
quadrupole	216 (11 families)
sextupole	72 (3 families)
steering	186

	エネルギー [GeV]	粒子数 [ppp]	繰り返し [sec]	ビーム出力 [kW]
デザイン	50	3.3×10^{14}	3.52	750kW
変更1	30	3.3×10^{14}	2.1	750kW
現状	30	1.73×10^{14}	2.48	335kW
変更2	30	2.0×10^{14}	1.28	750kW

(ppp = proton per pulse)

- ① RF 2倍高調波の重畳による空間電荷効果の軽減
- ② 高繰り返し電源
- ③ 高加速勾配RF空洞の開発 etc...

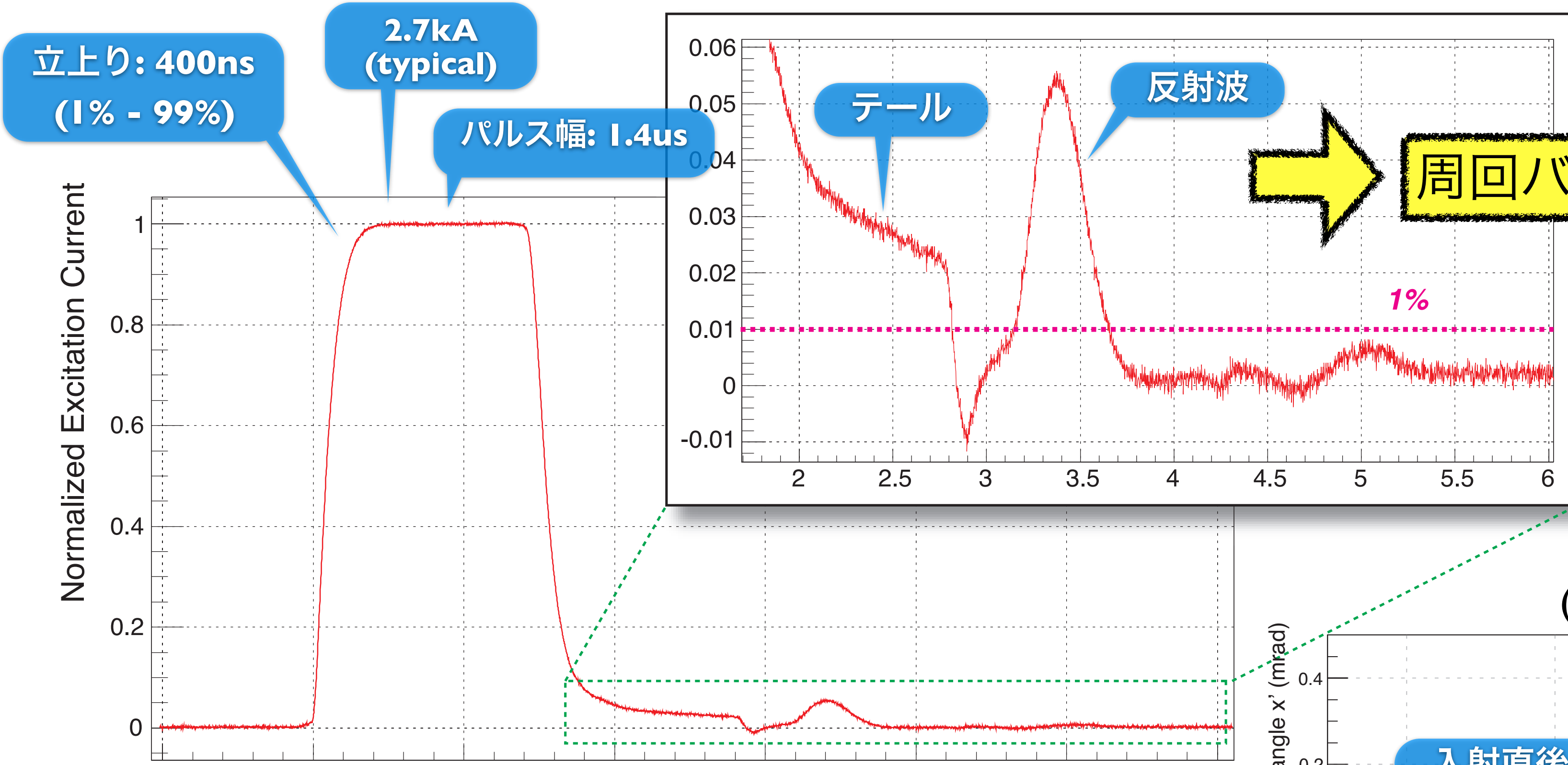
(Injection Section)



BL=0.097 [Tm]
 $\theta_{kick}=7.6$ [mrad]

(→芝田's talk)

入射キッカー 励磁電流パルス波形の問題



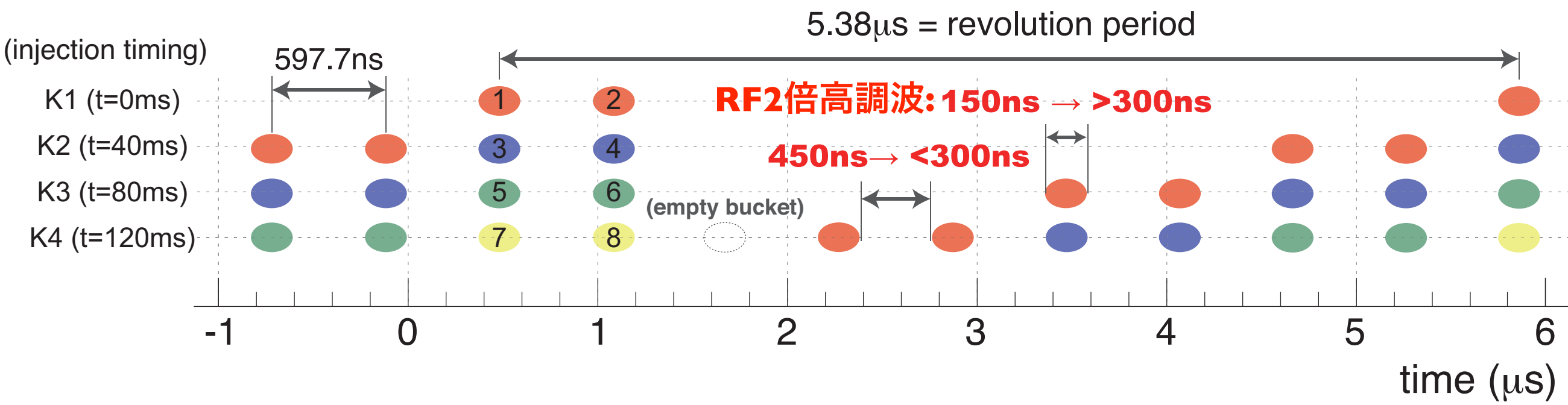
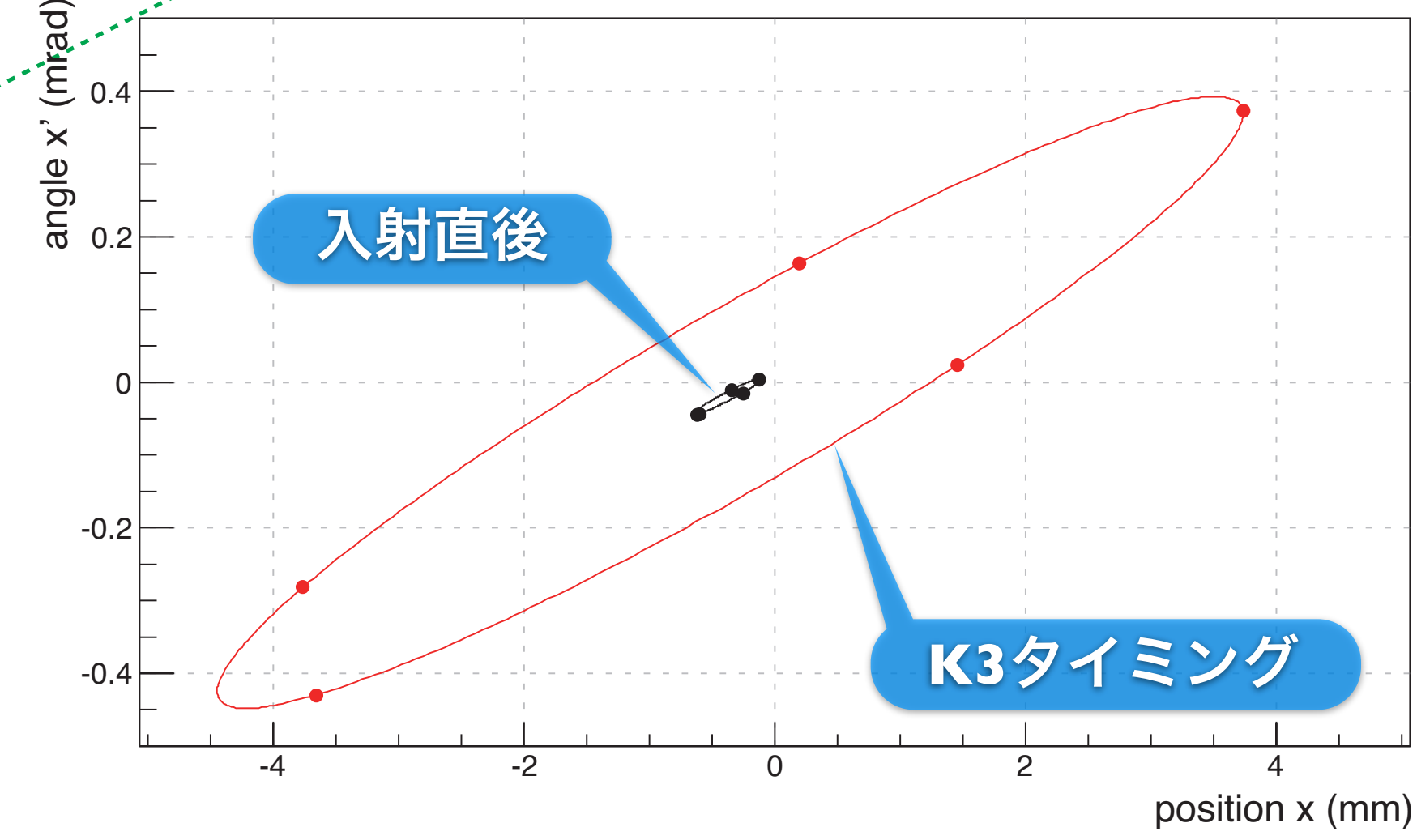
周回バンチを蹴ってしまう

コヒーレント振動

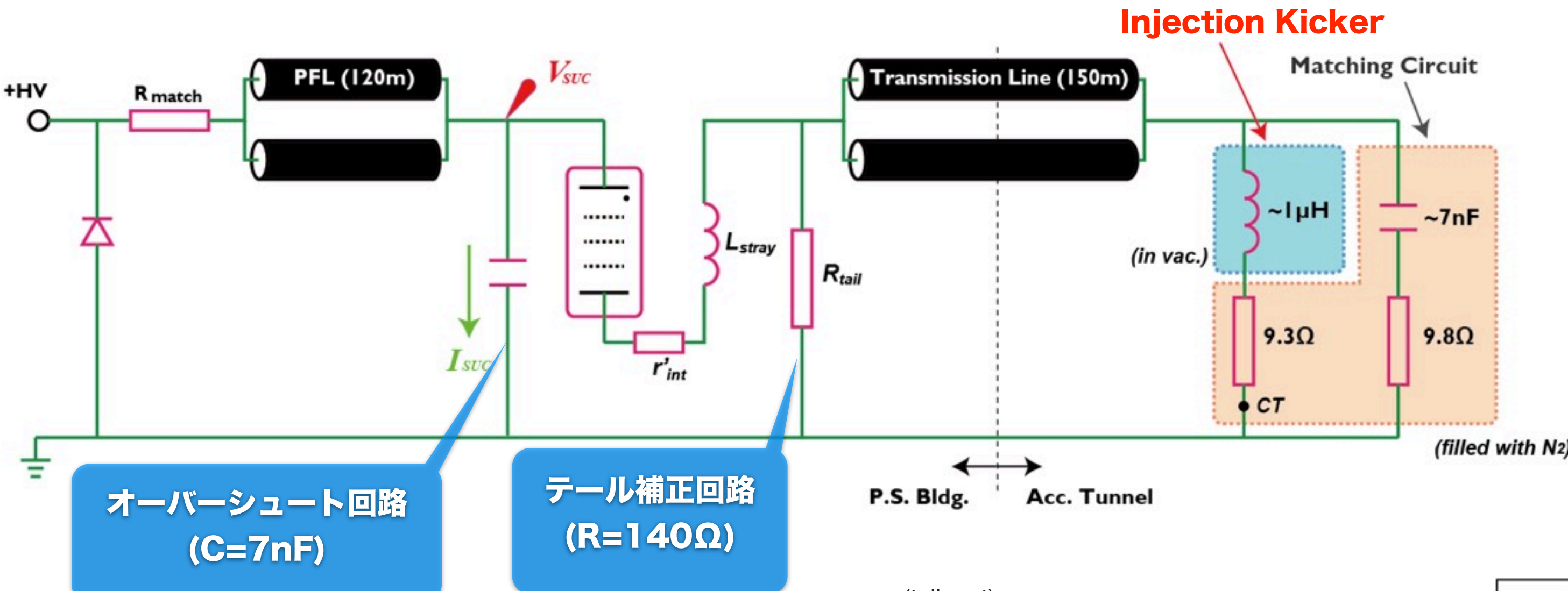
ビームロス!

(~160W @335kW運転)

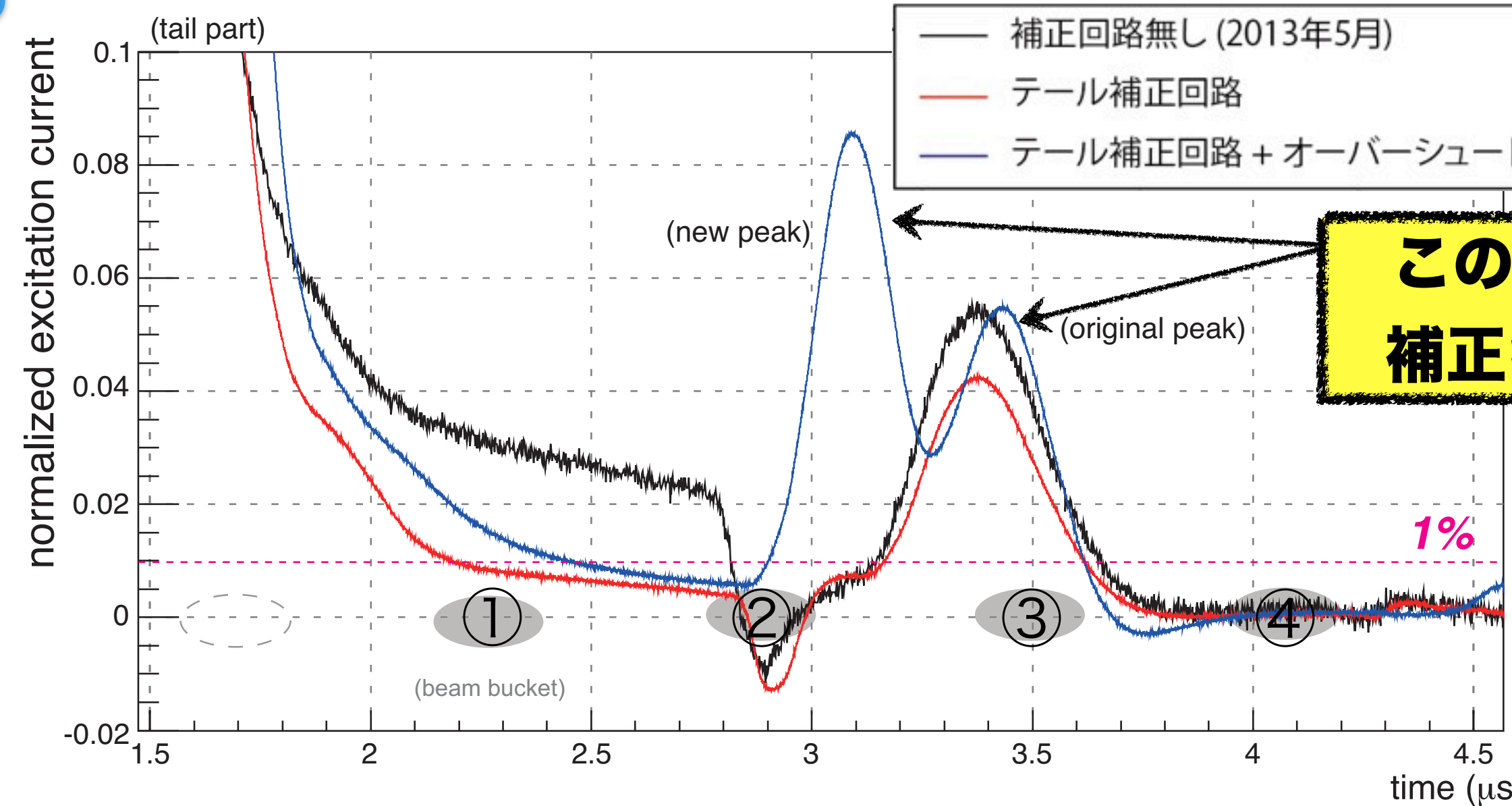
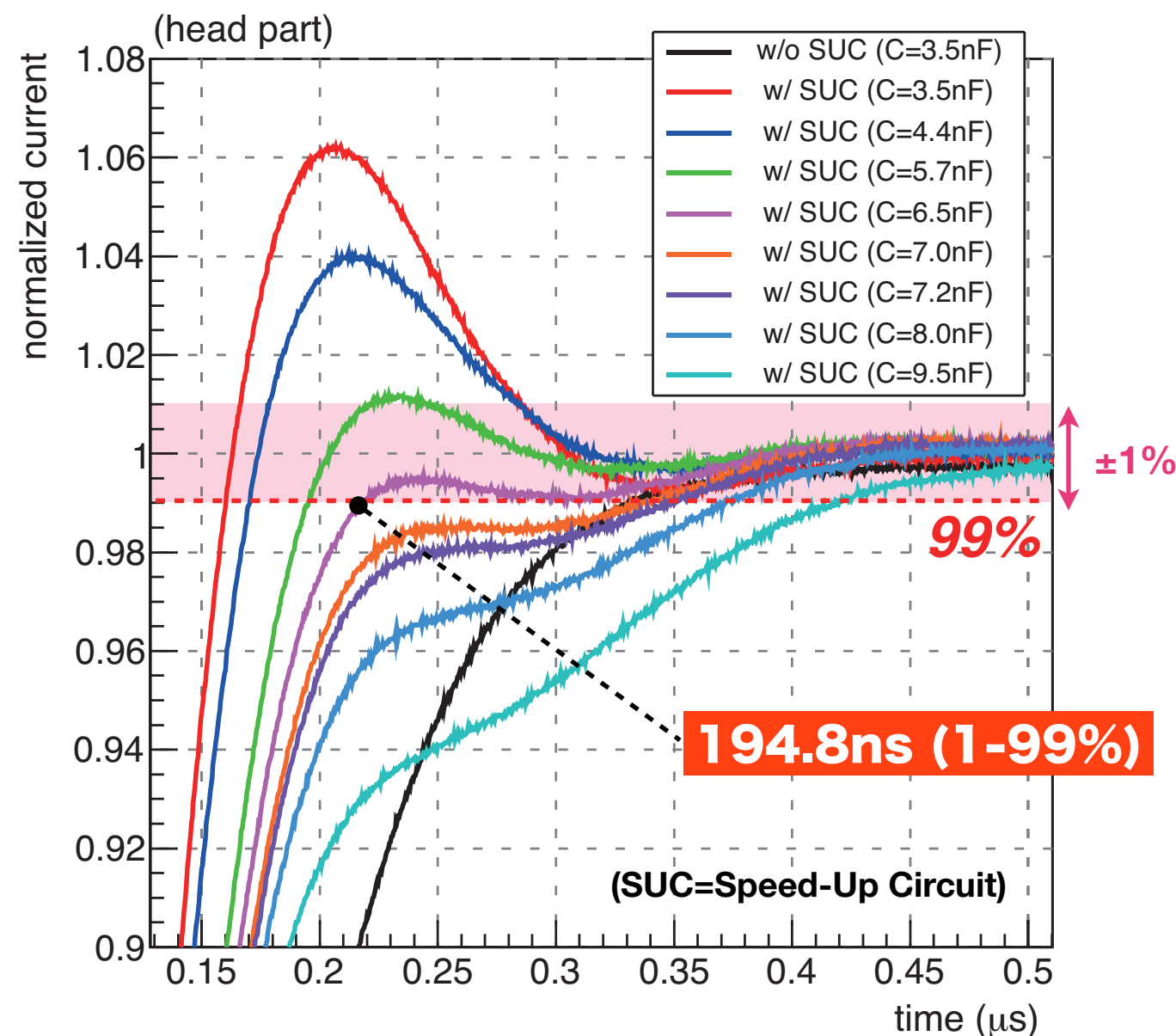
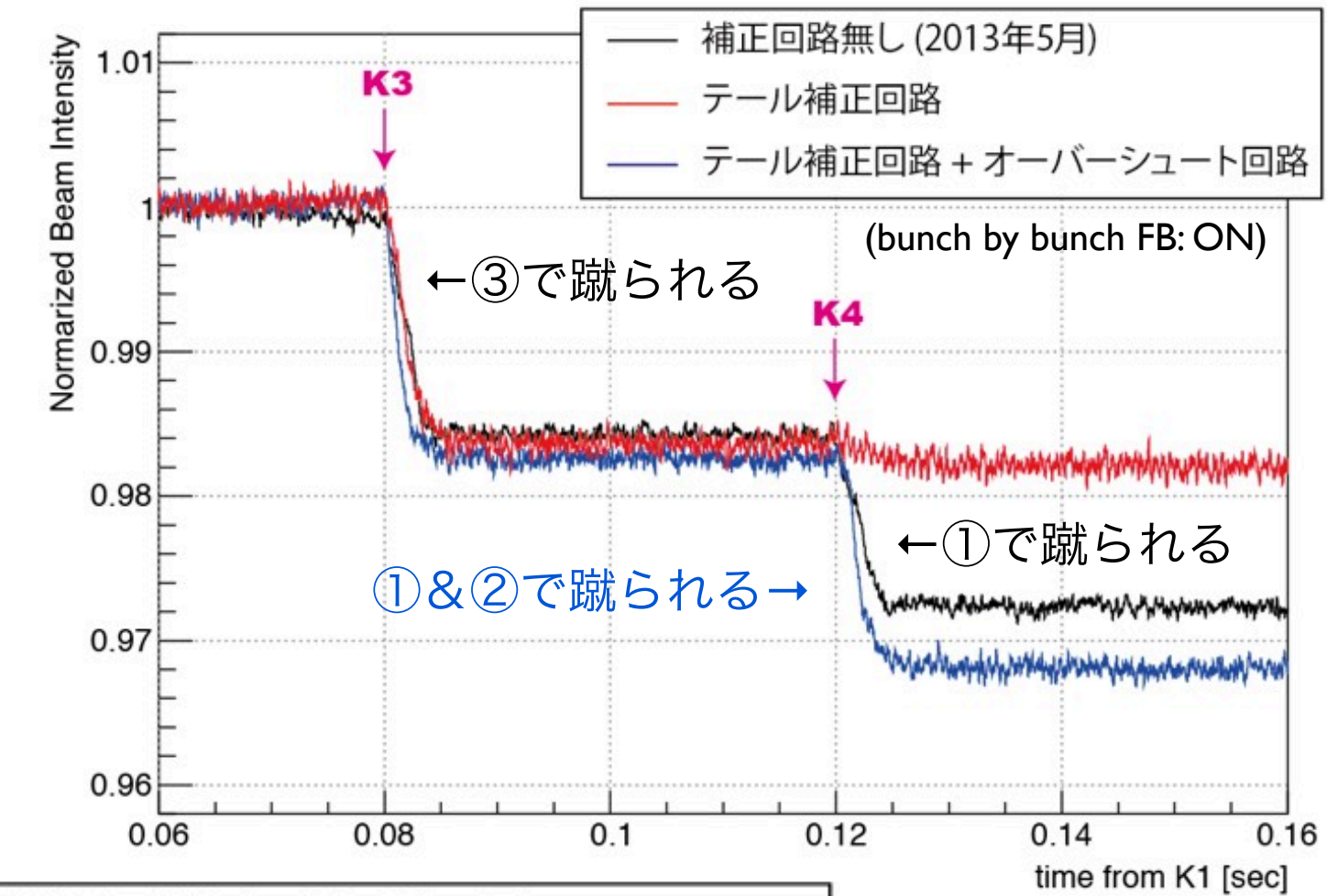
(phase space plot for #1 bunch)



補正回路と波形調整 (2013年夏)



2バンチ(#1 & #2) におけるビームロス



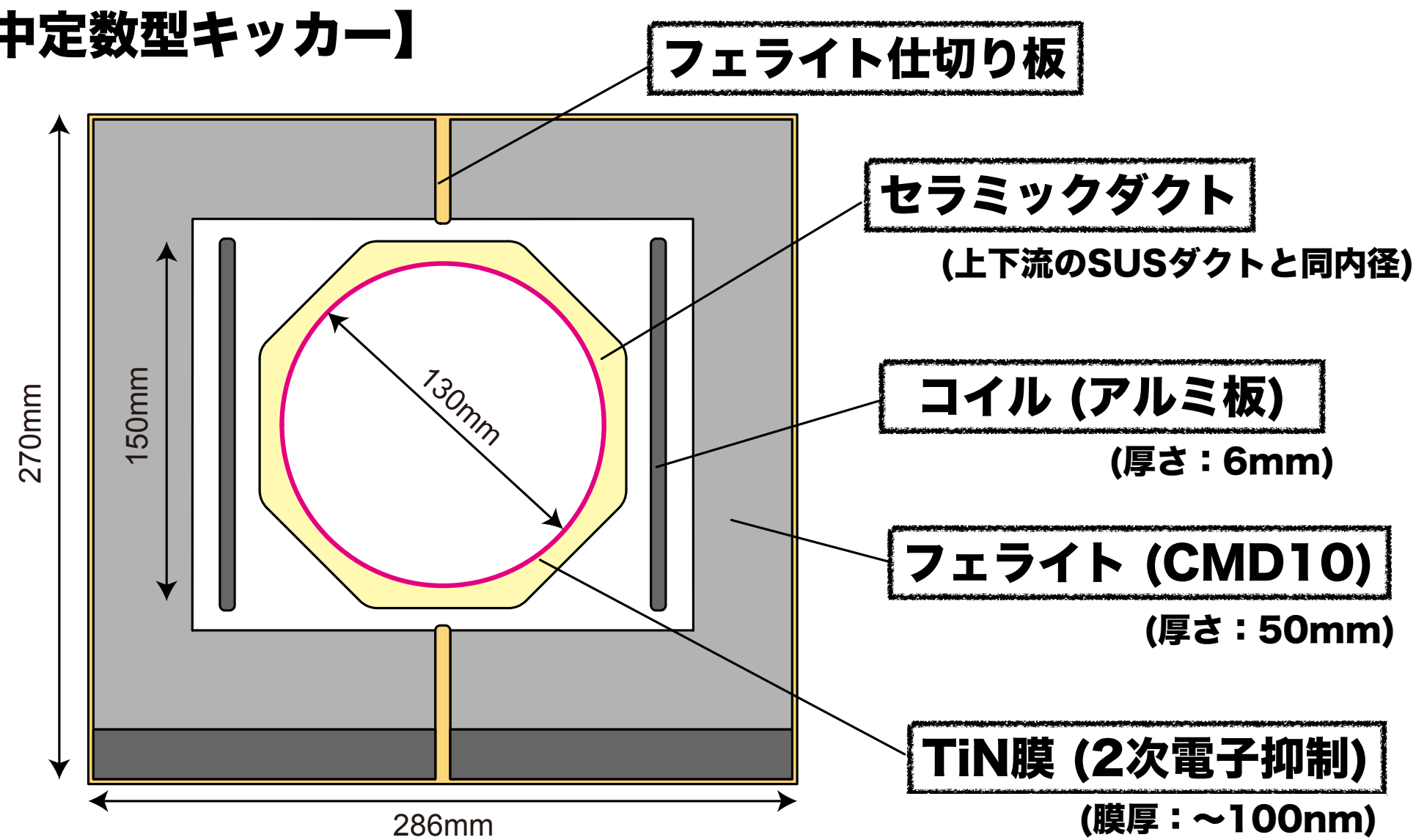
**この2山を補正する
補正キッカーを導入**

(※参考文献: IPAC14 MOPME069, 第11回加速器学会 SUOL04)

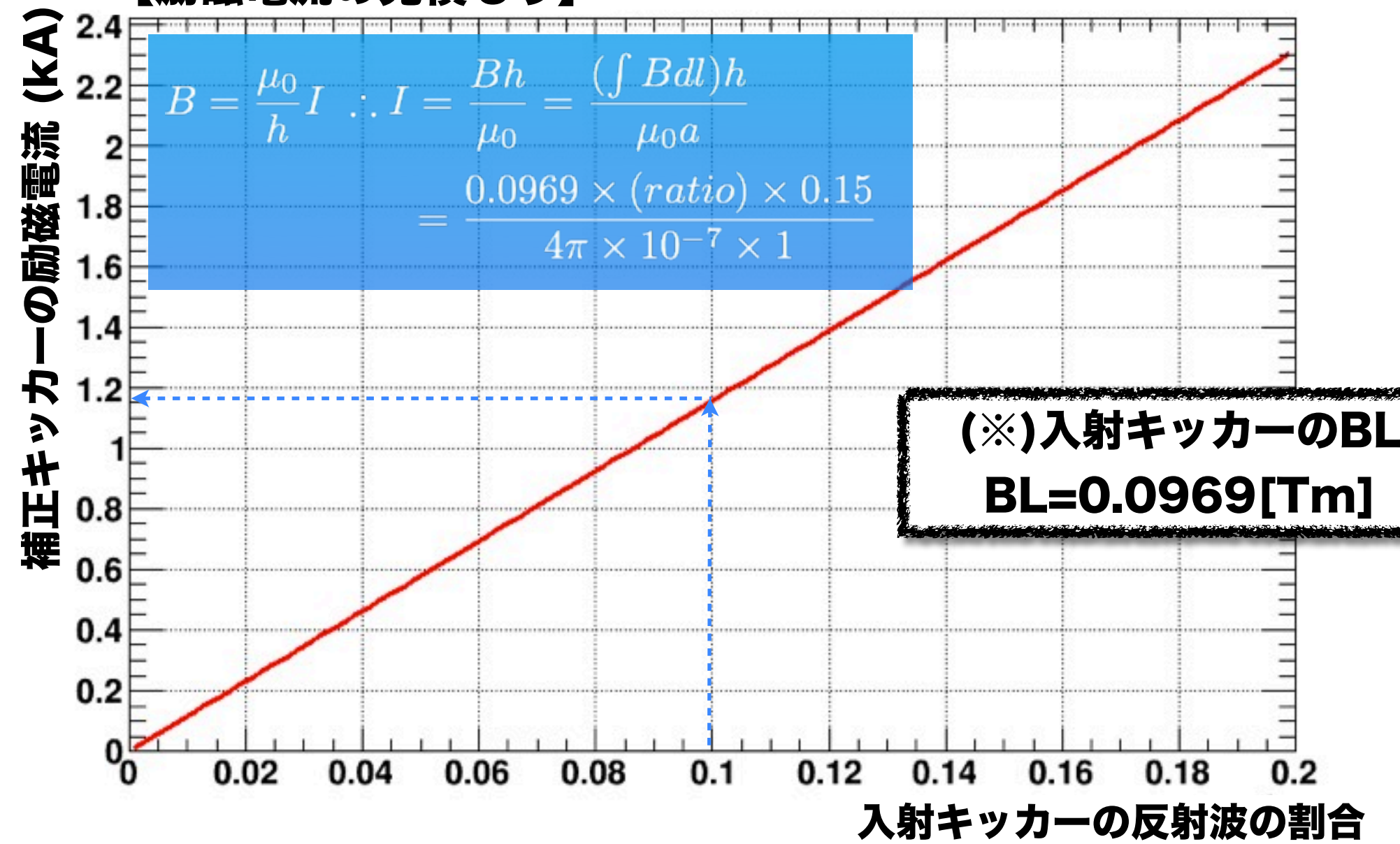
補正キッカーの基本設計



【集中定数型キッカー】

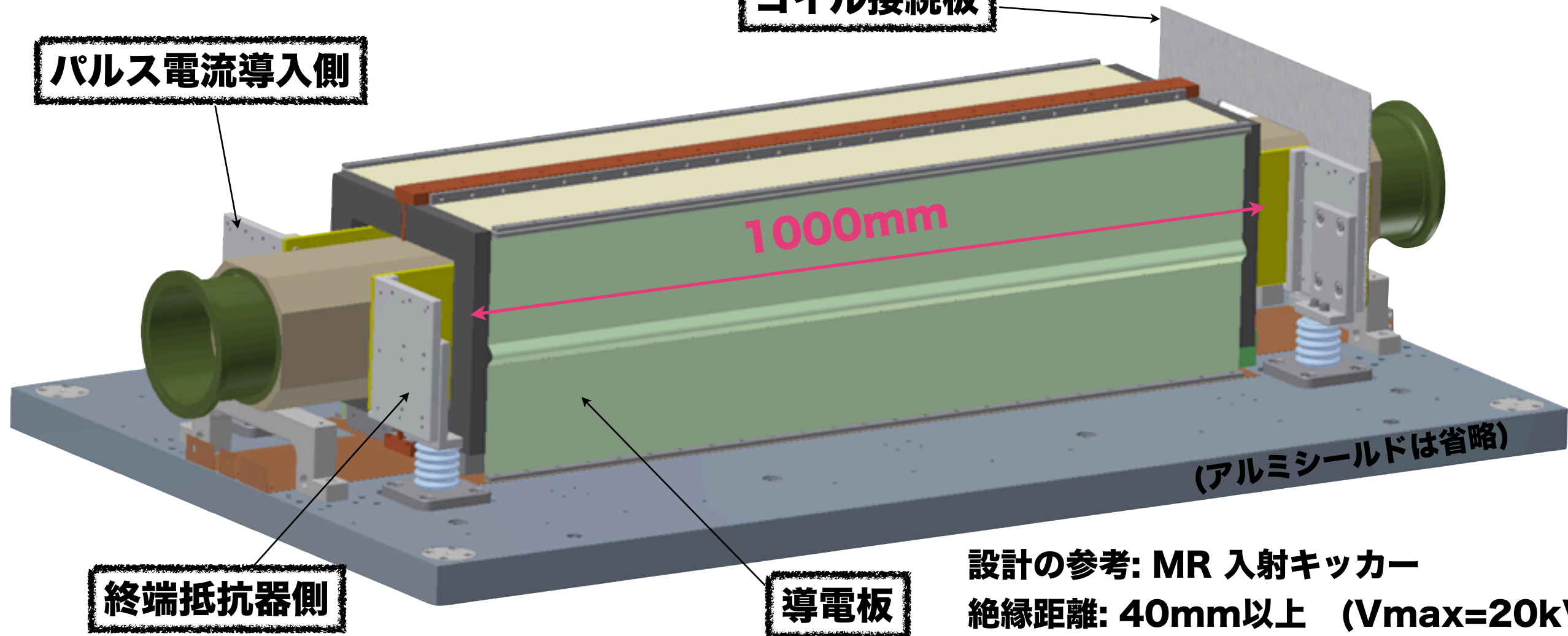


【励磁電流の見積もり】



パルス電流導入側

コイル接続板

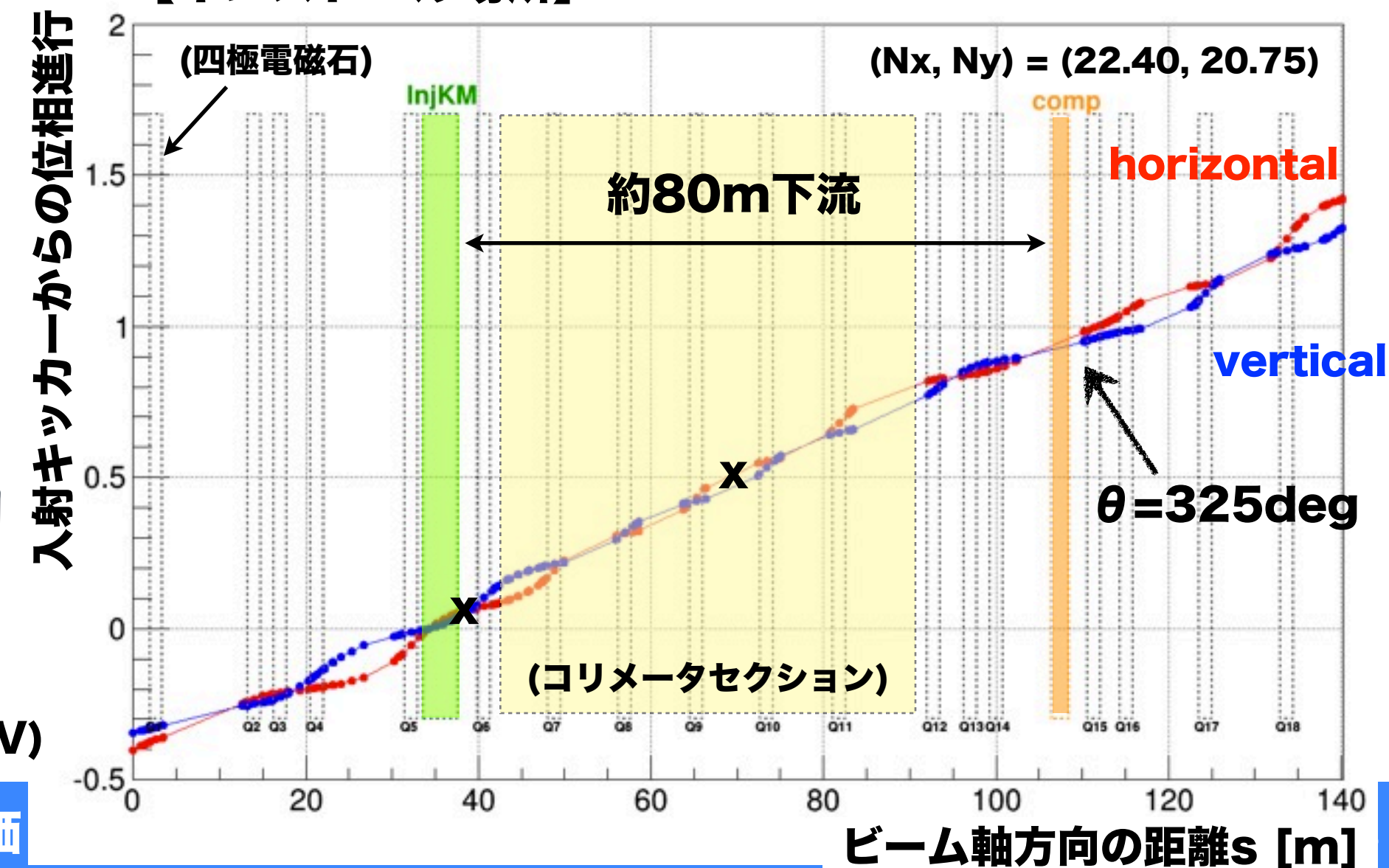


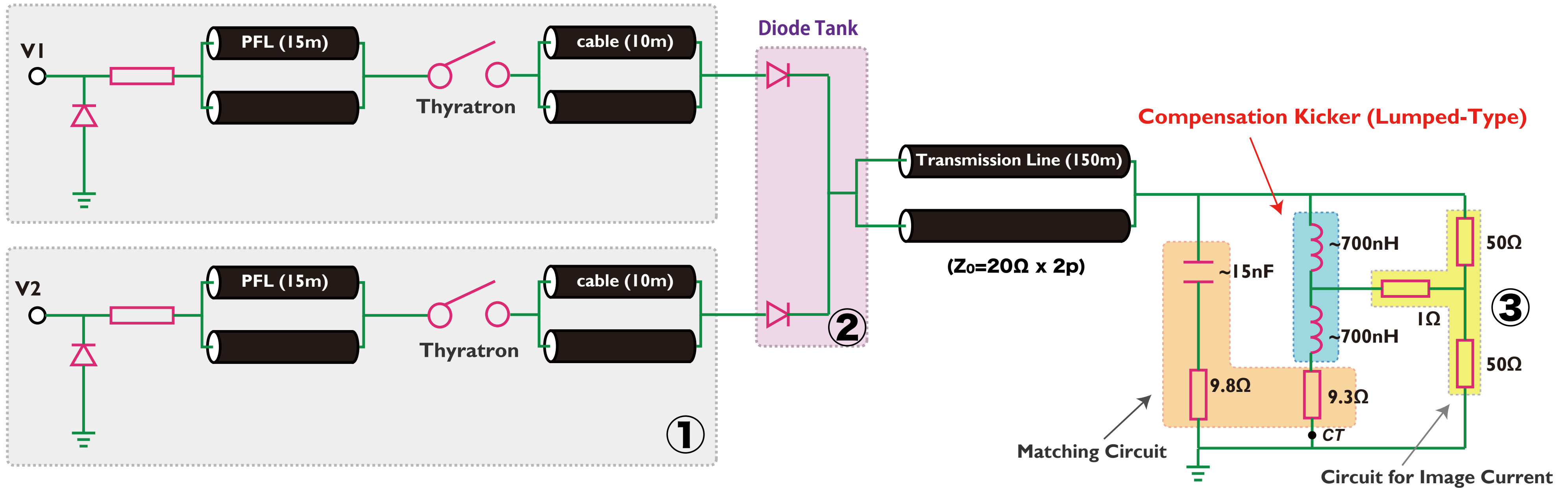
終端抵抗器側

導電板

設計の参考: MR 入射キッカー
絶縁距離: 40mm以上 (Vmax=20kV)

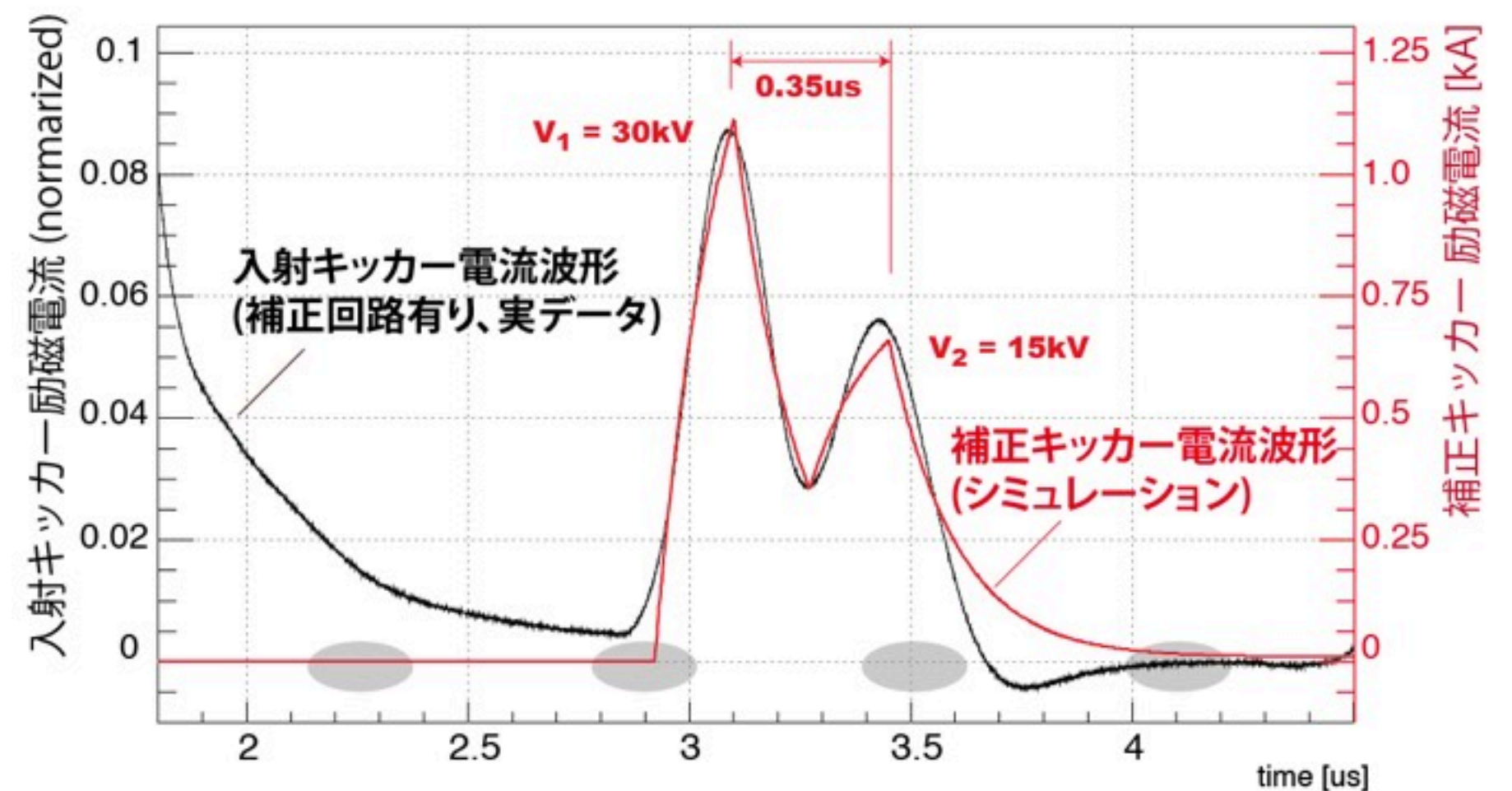
【インストール場所】



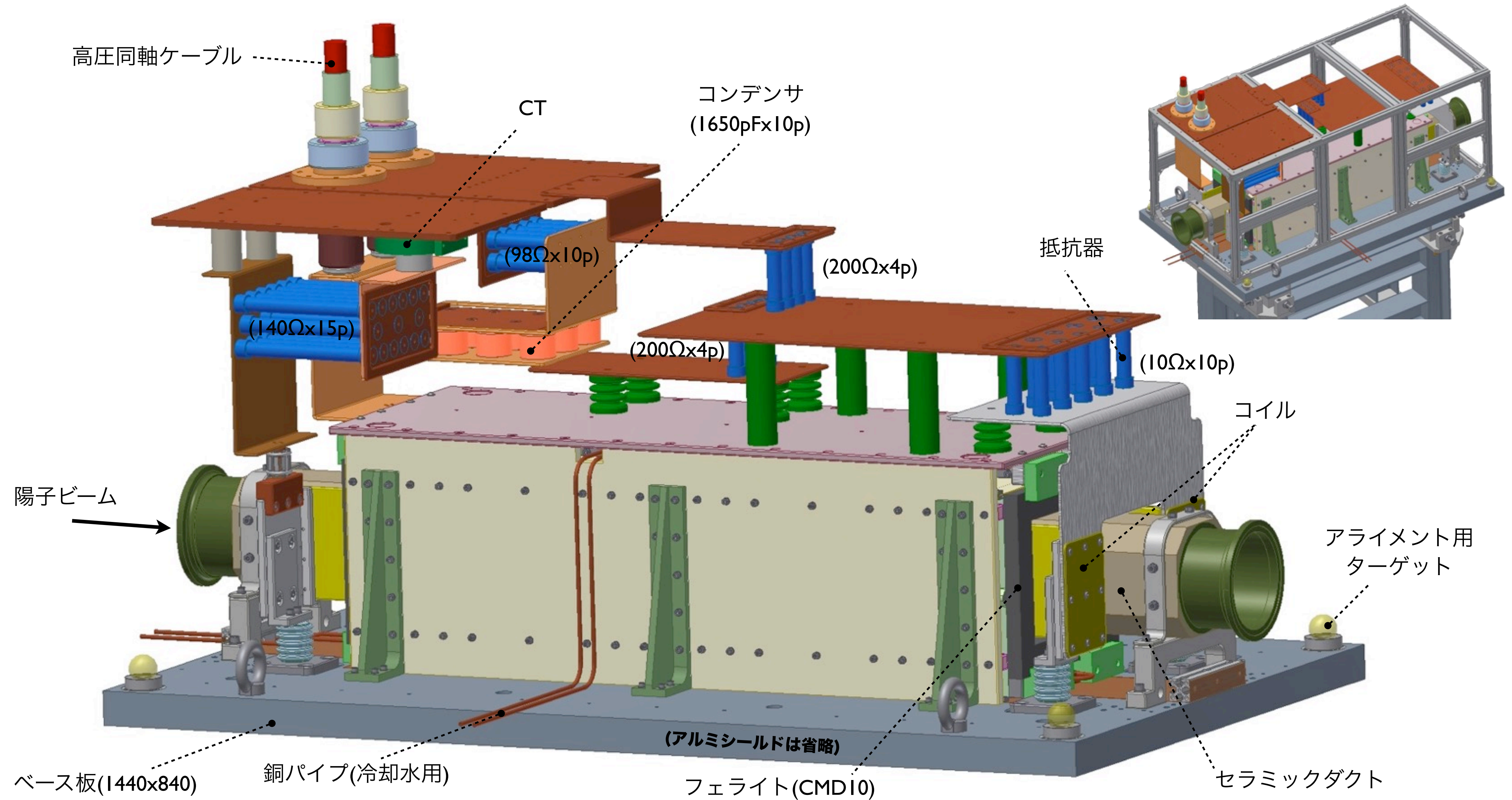


<デザイン上のポイント>

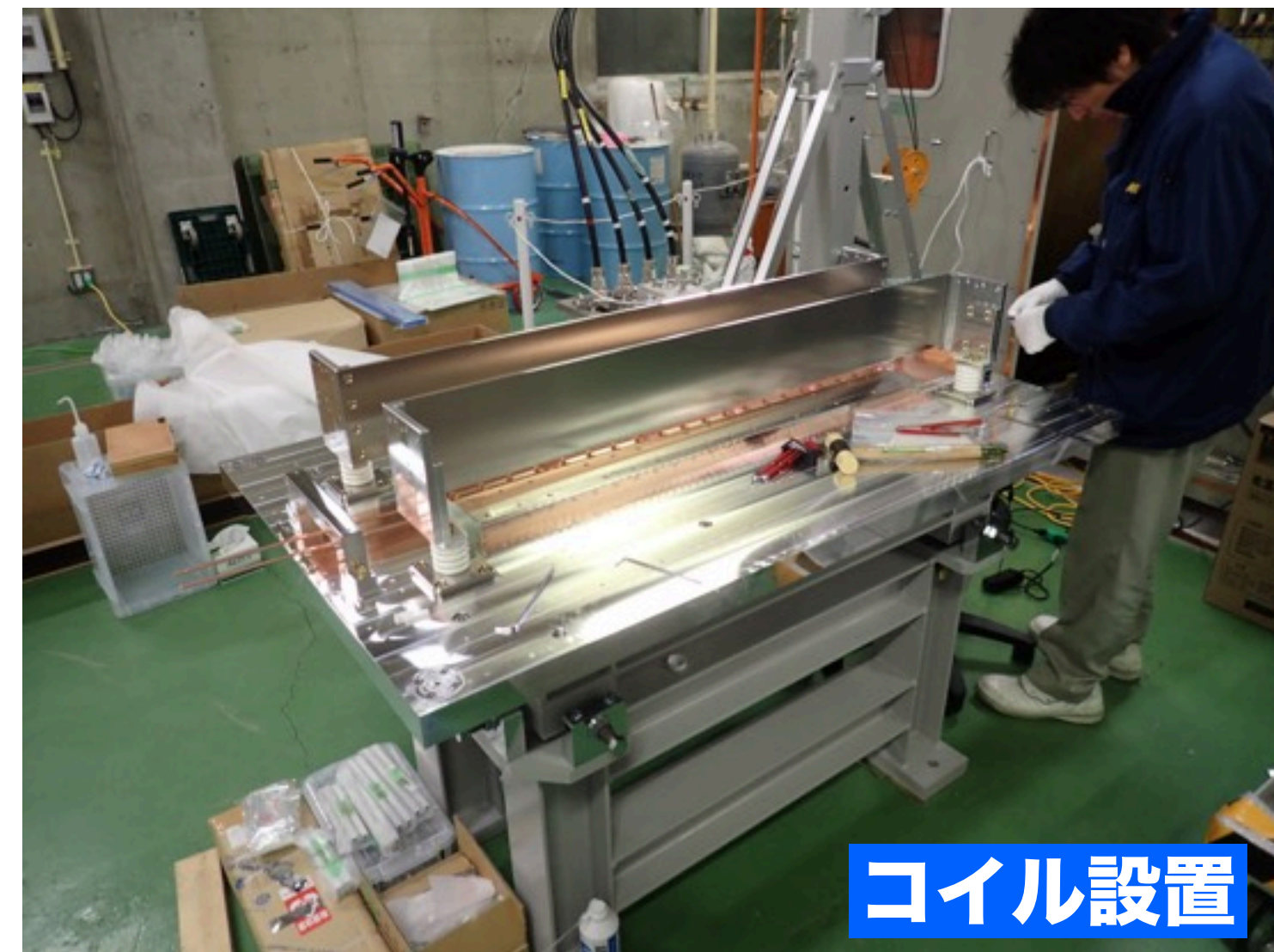
- ① 予備の入射キッカー電源+サイラトロンを利用
→ 開発コスト削減 & 開発期間短縮
- ② コイルを1つにつなげる + ダイオード整流
→ タイミングを変えて2パルス作る
- ③ イメージ電流を流すための回路を付ける
→ ビームインピーダンスの低減



全体図



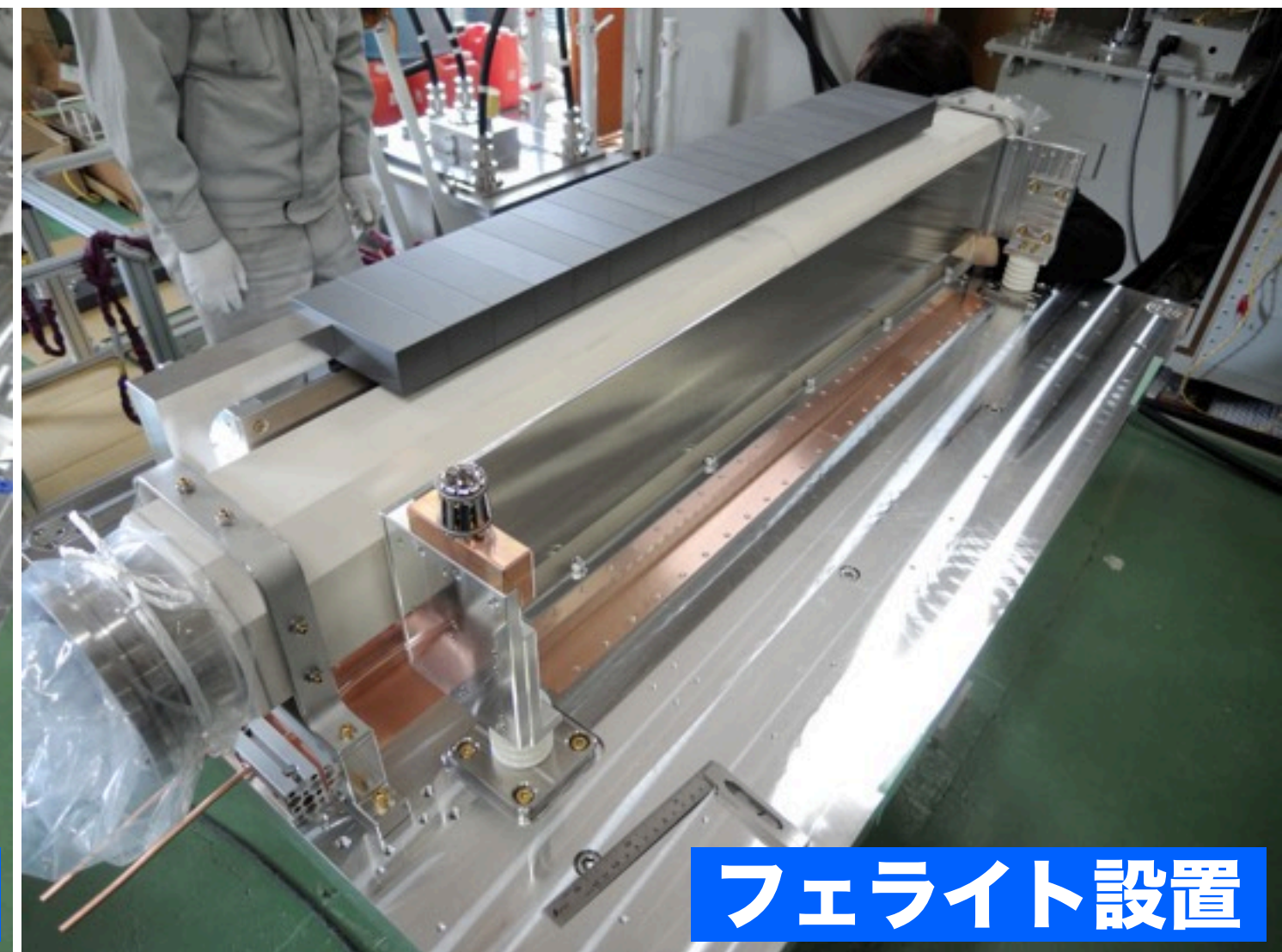
マグネットの組み立て



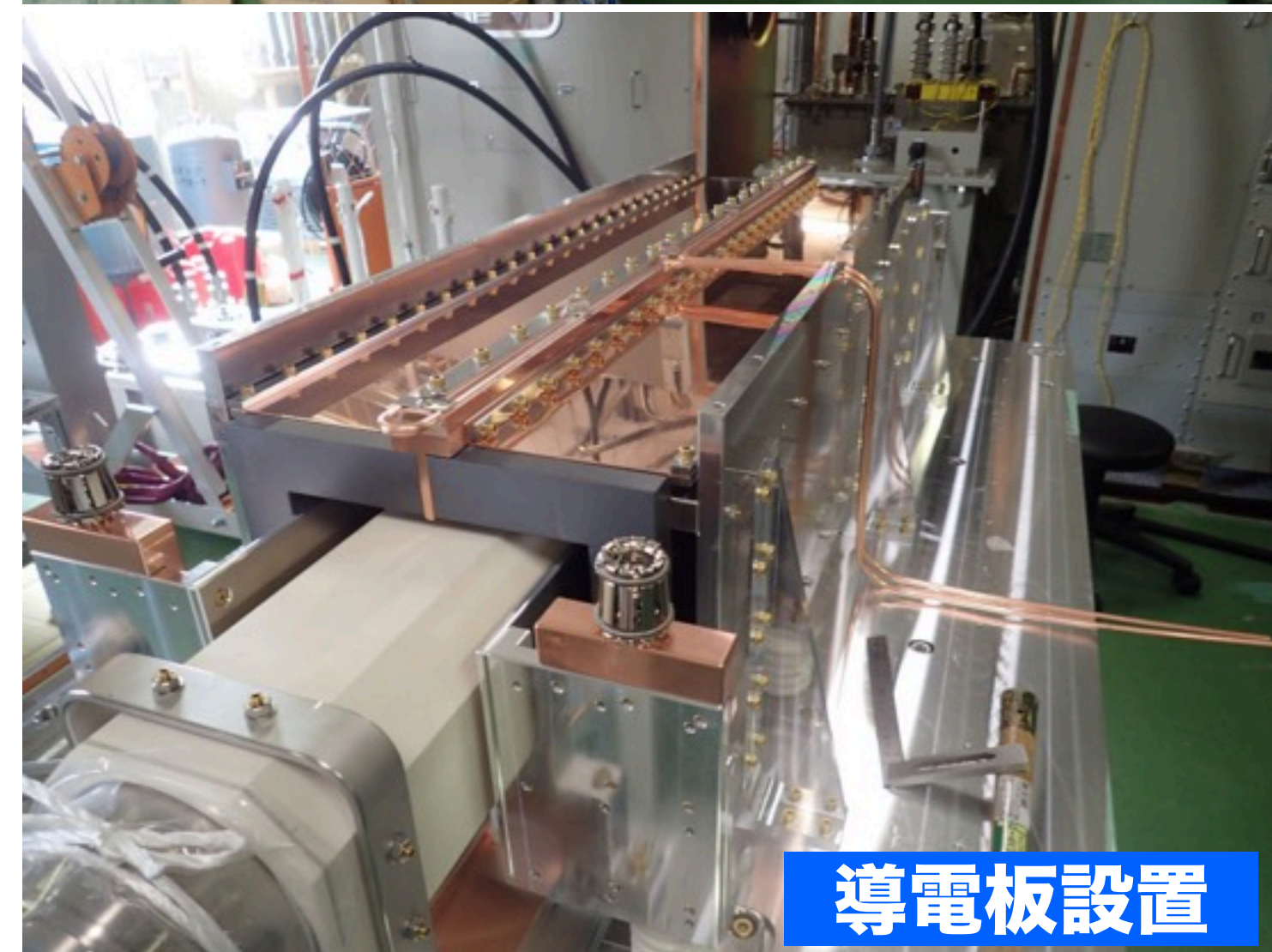
コイル設置



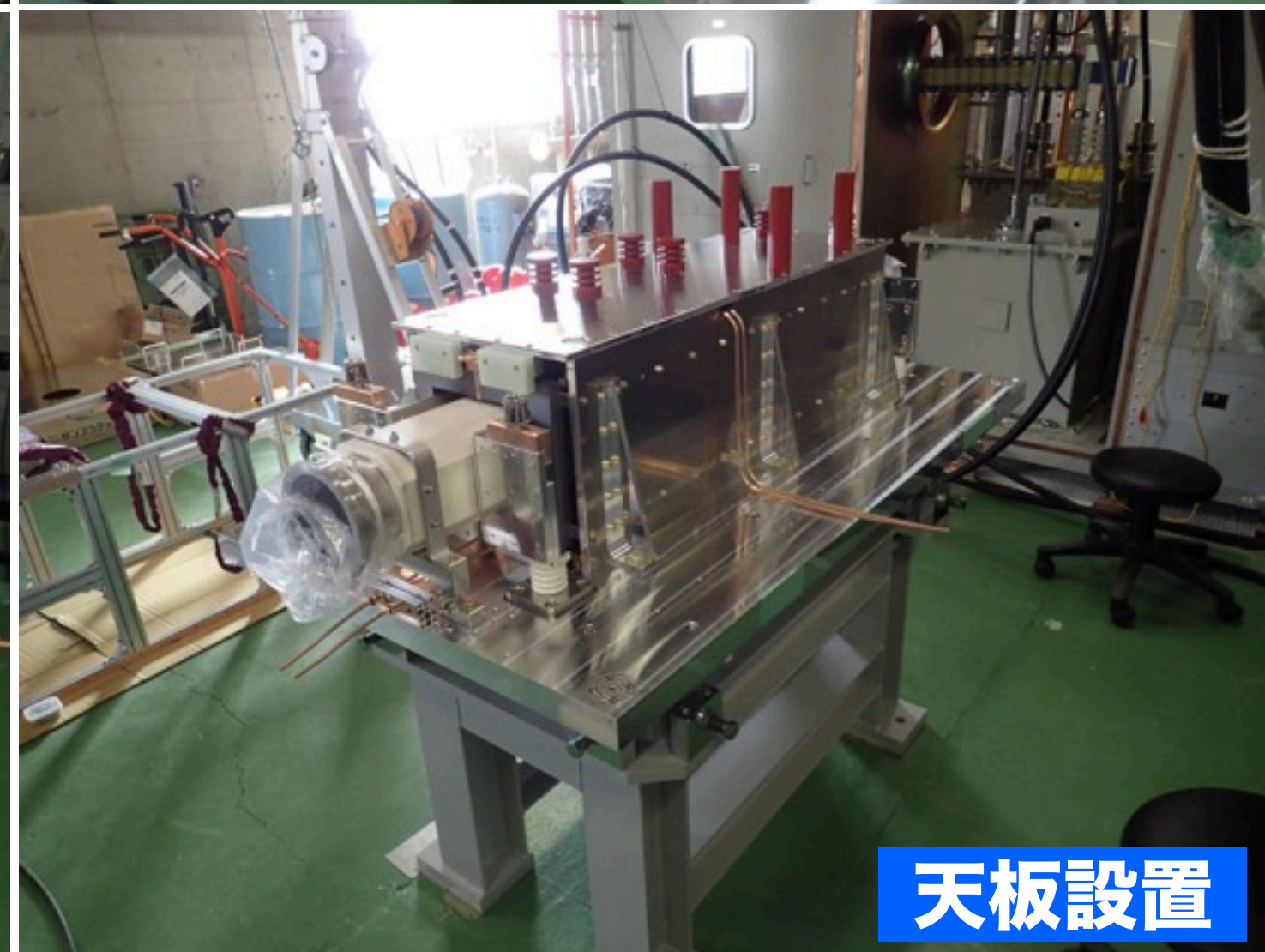
ダクト設置



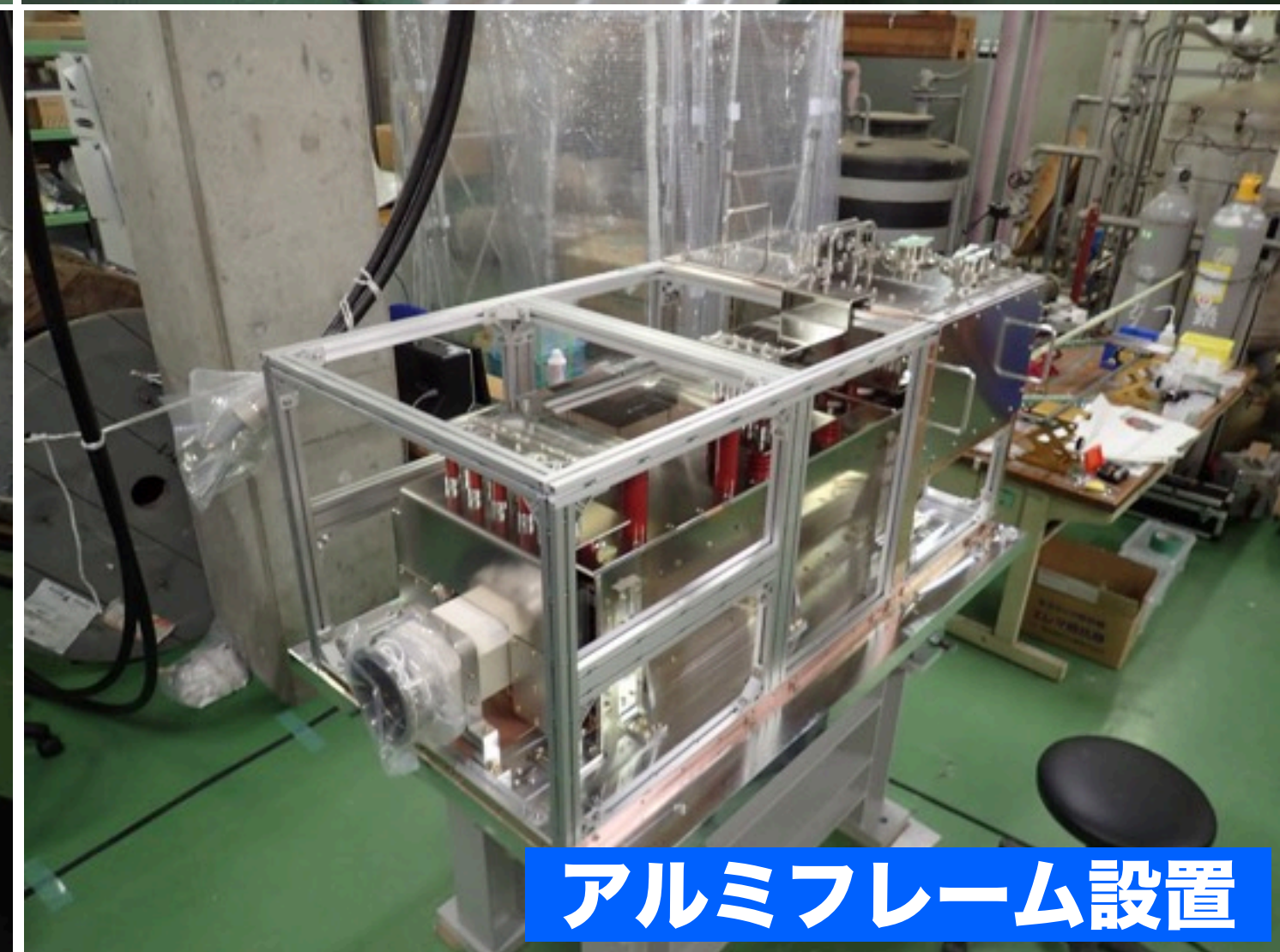
フェライト設置



導電板設置



天板設置

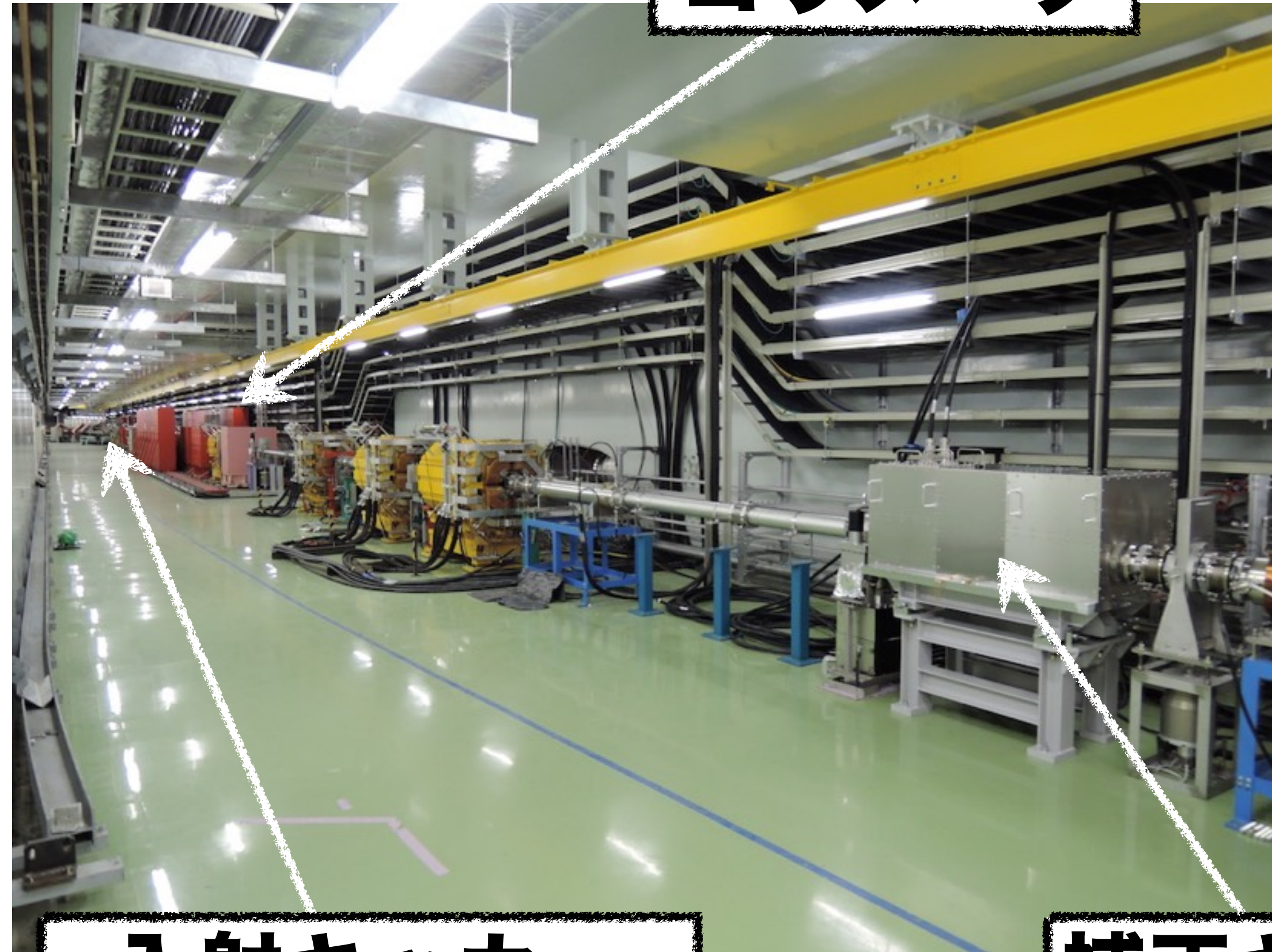


アルミフレーム設置

組立場所: KEKつくばキャンパス内

組立協力: 日本アドバンステクノロジー

コリメータ



入射キッカー

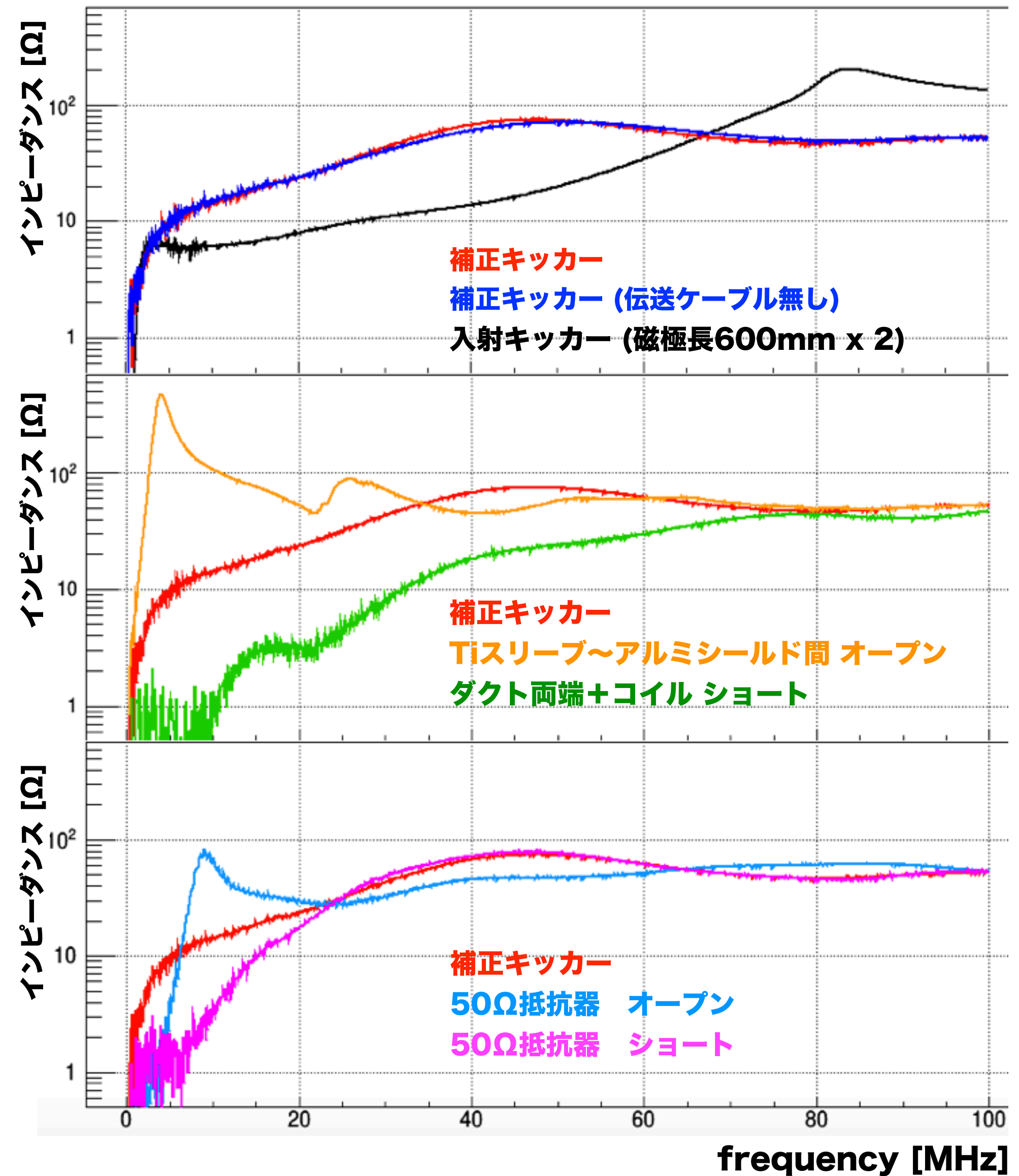
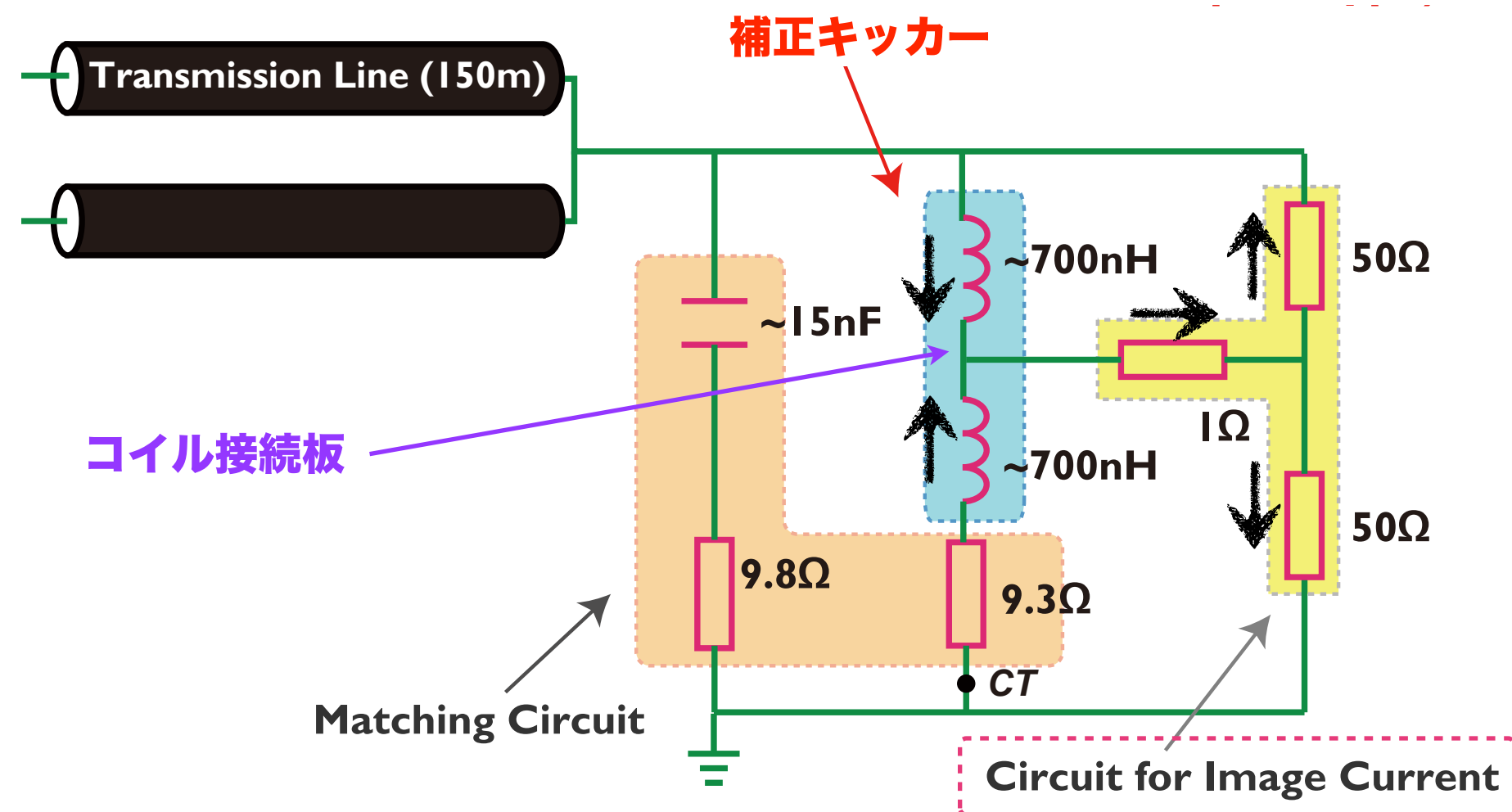
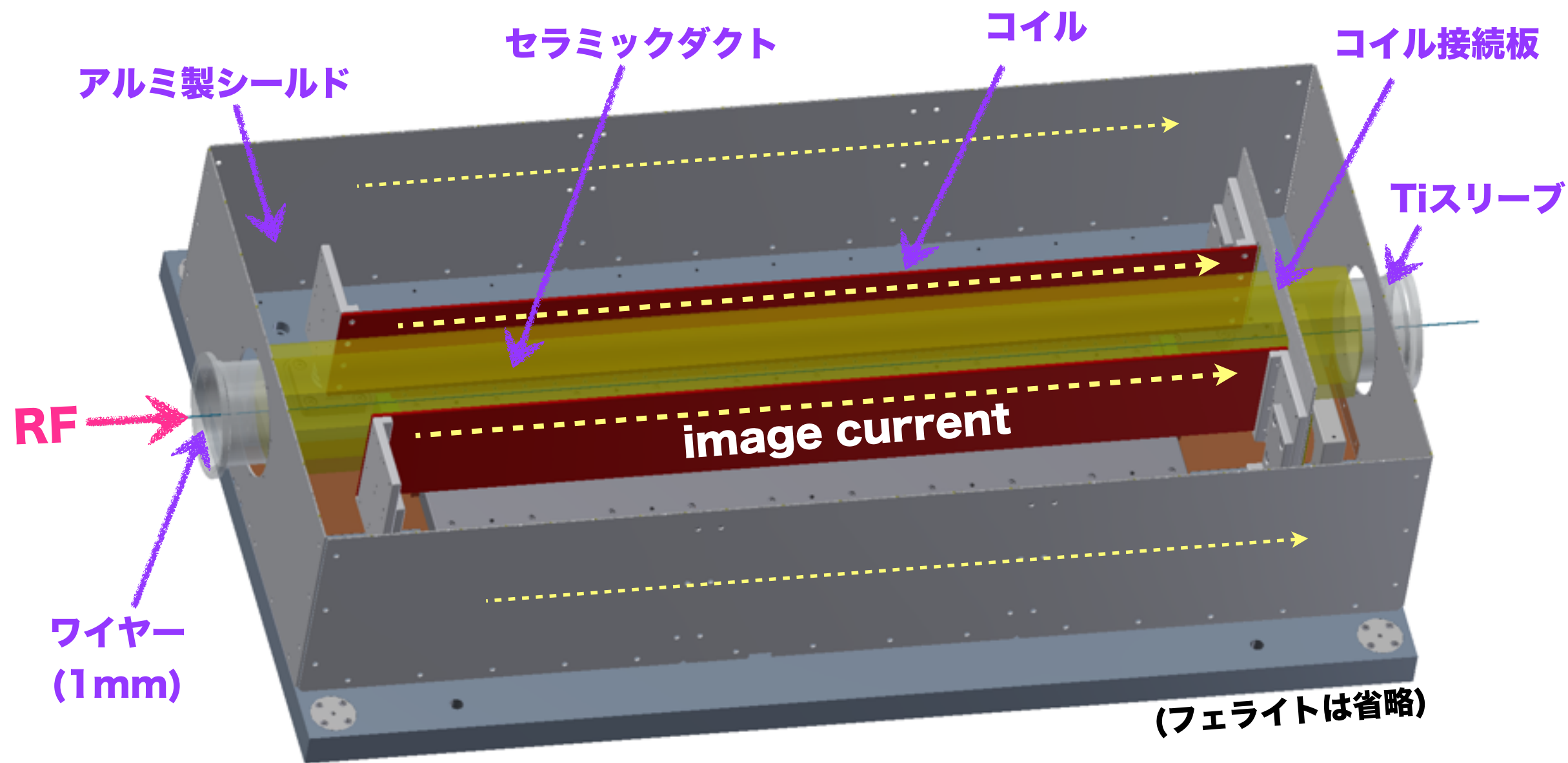


補正キッカー

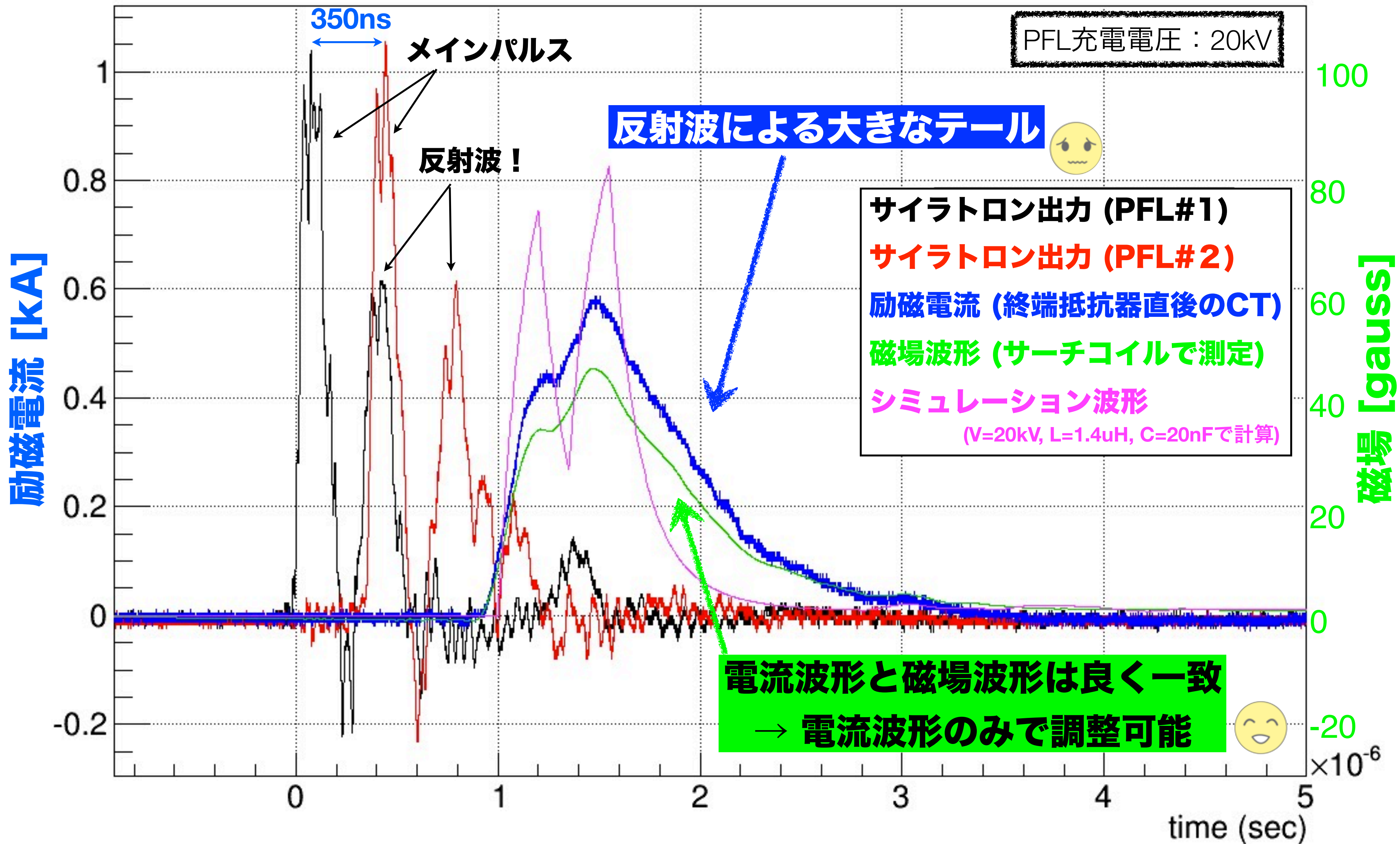
この辺で $\theta=360\text{deg}$ となるが...

インピーダンス測定

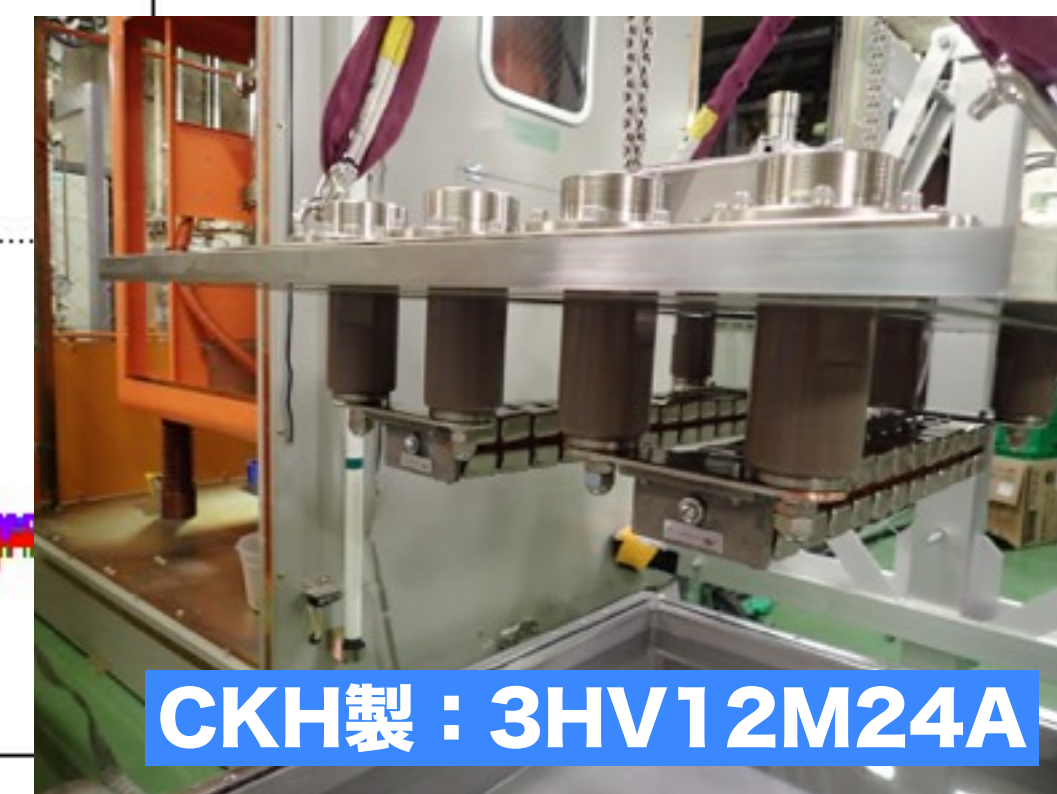
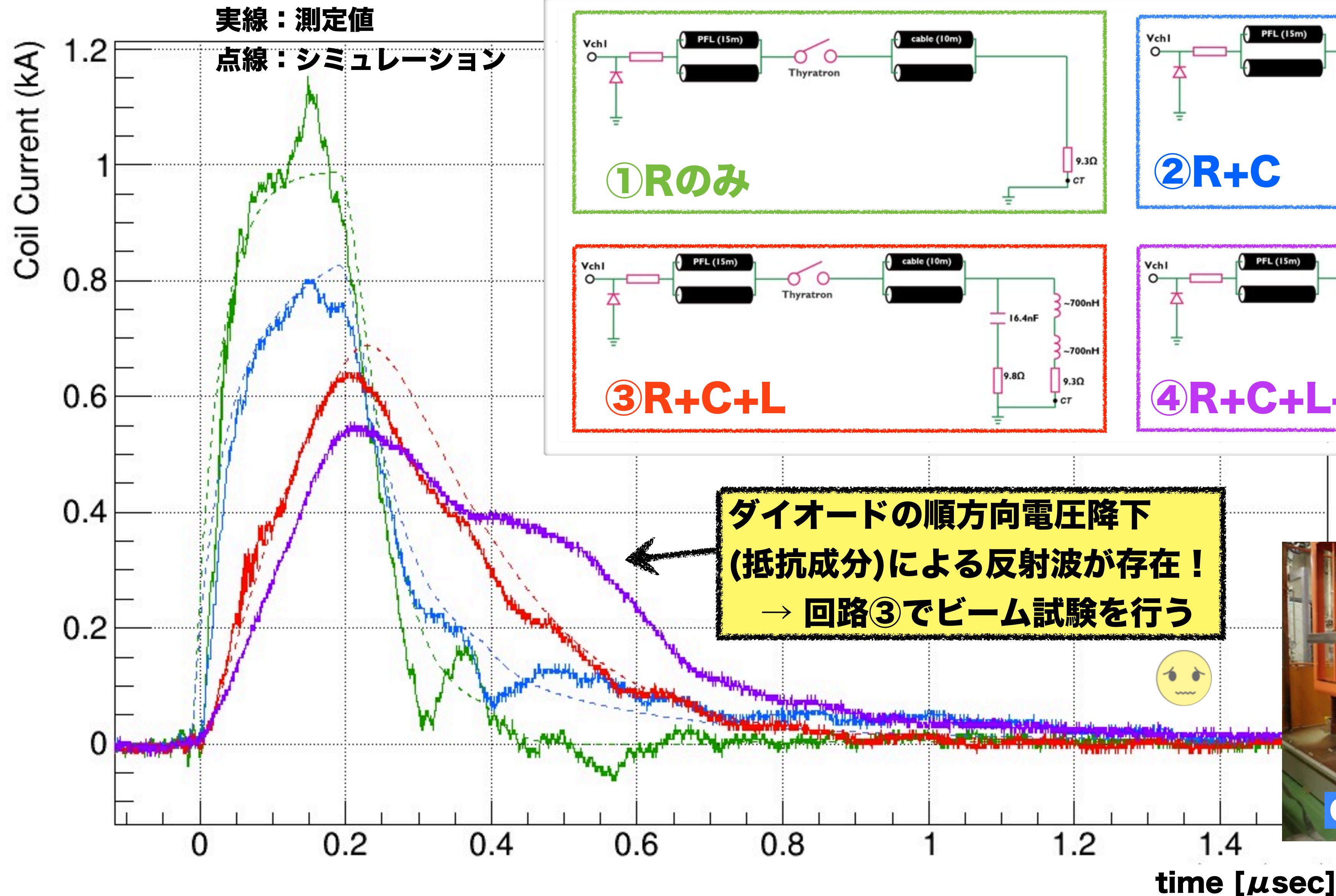
【single-wire法によるlongitudinal impedanceの測定】



電源調整1: 励磁試験



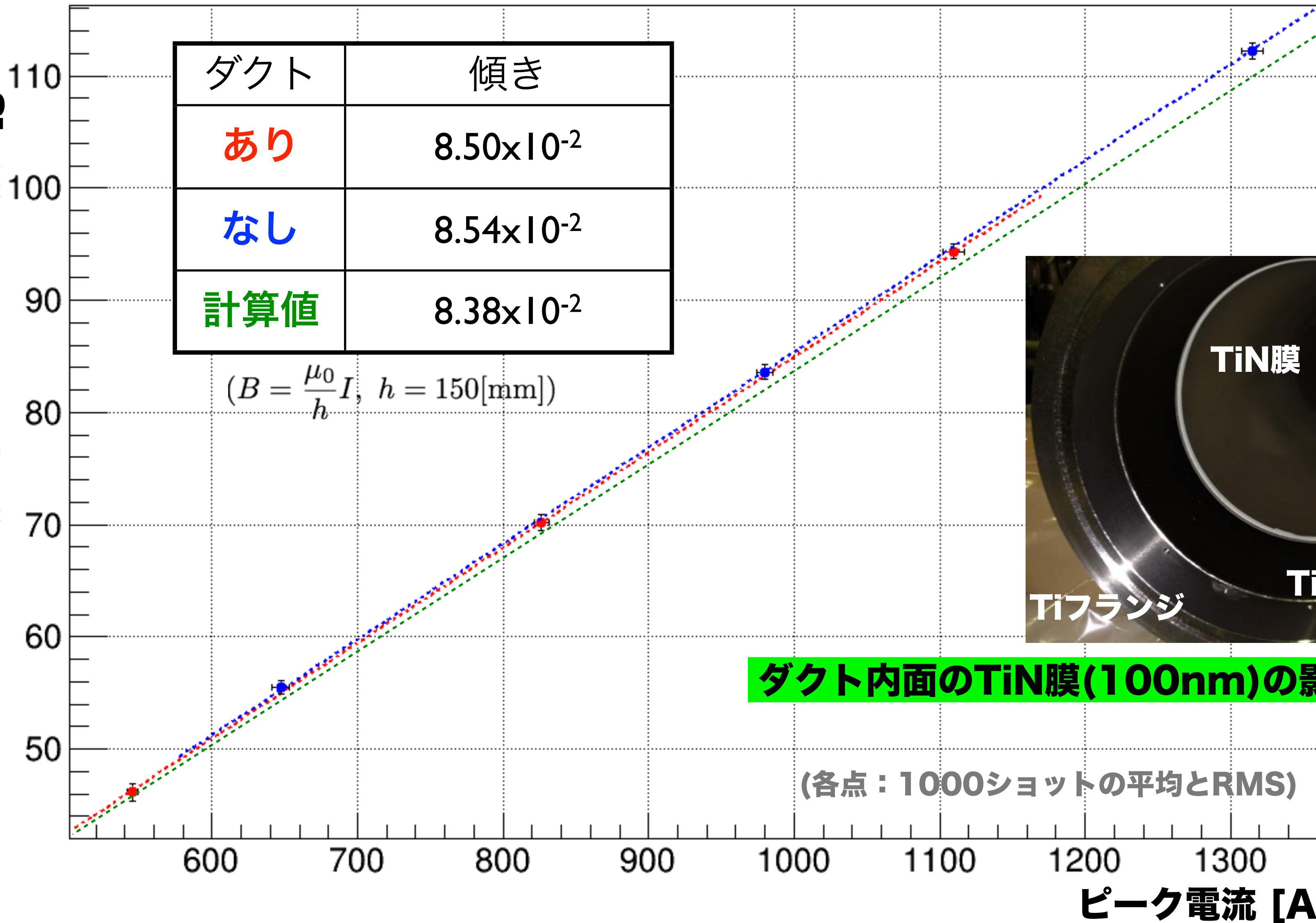
電源調整2: 反射波の原因の特定



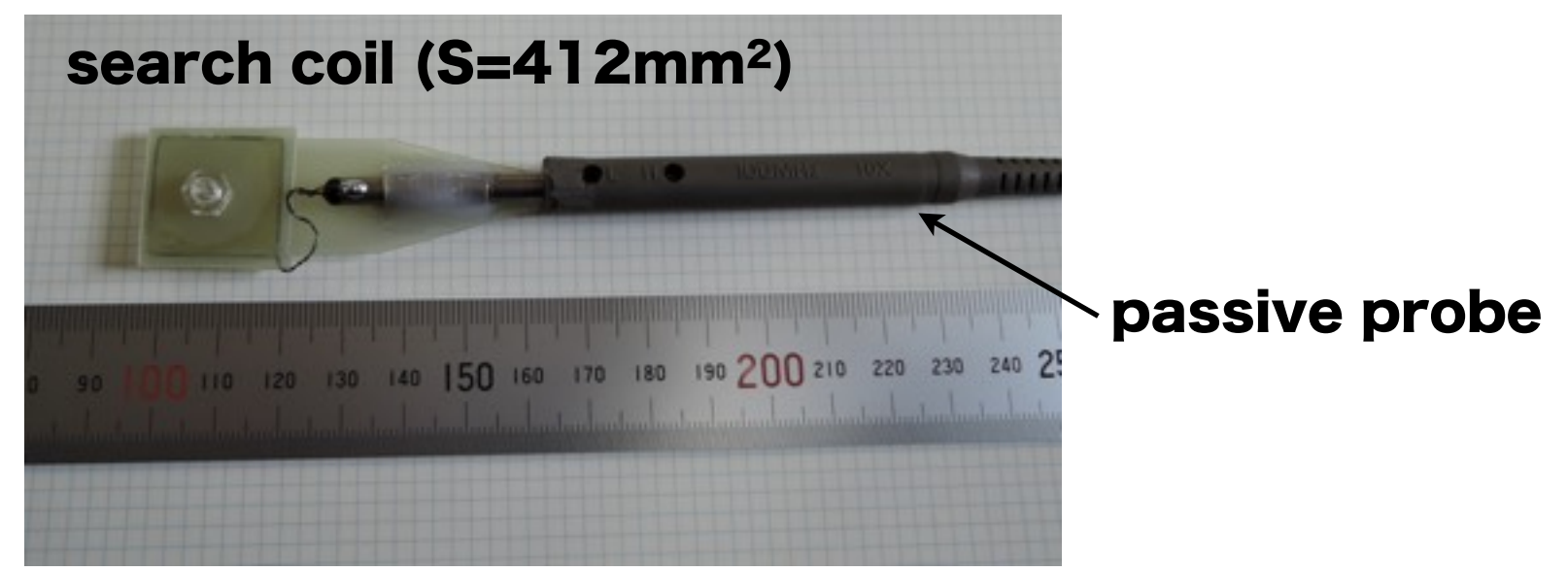
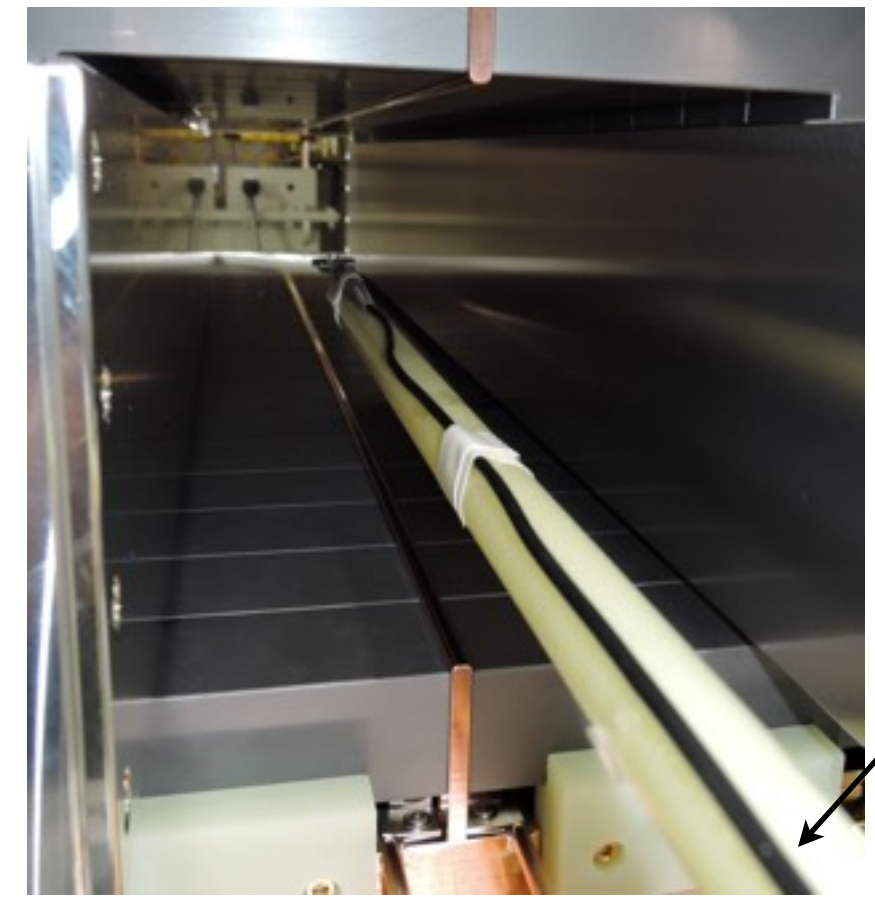
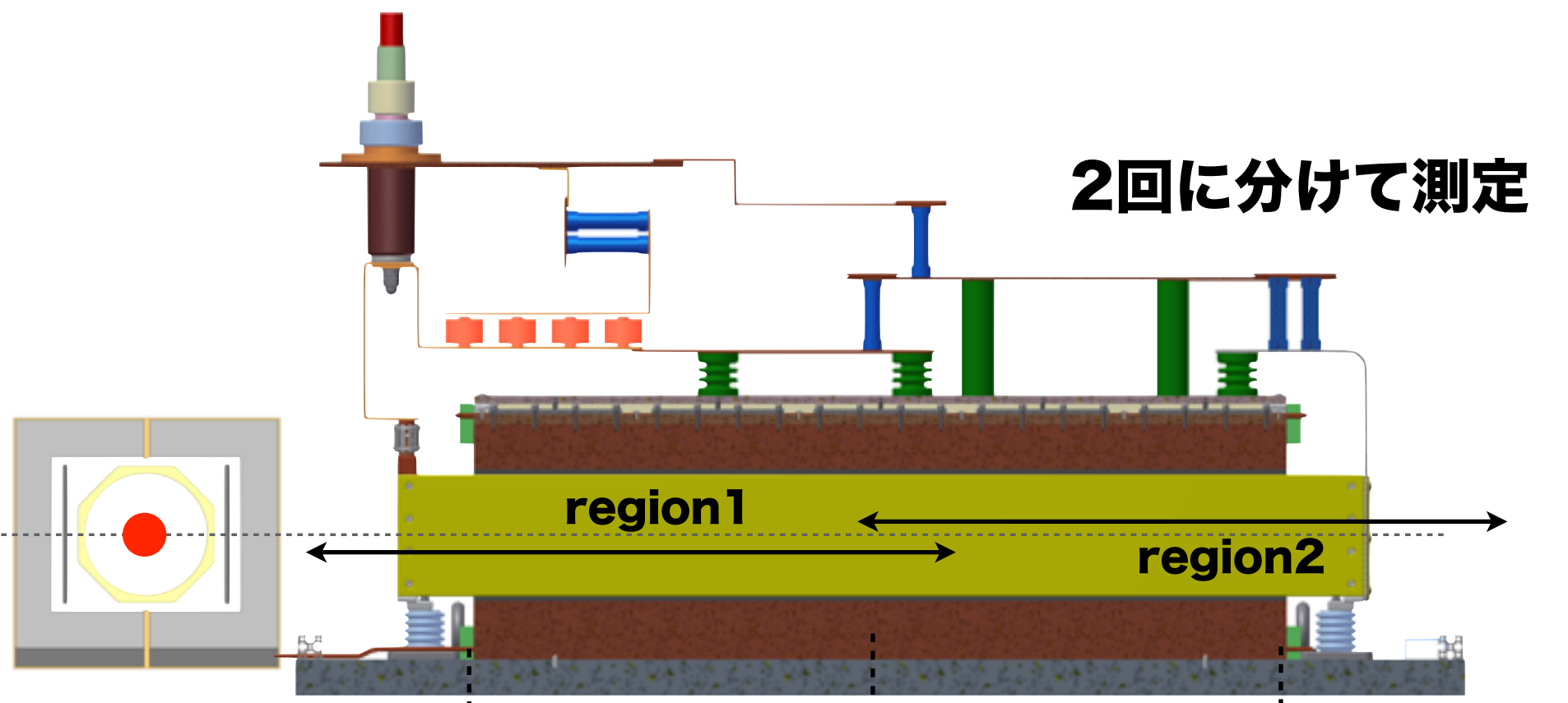
(Fxキッカー電源のものを借用)

磁場測定1: B-I curve

磁極中心でのピーク磁場 [gauss]



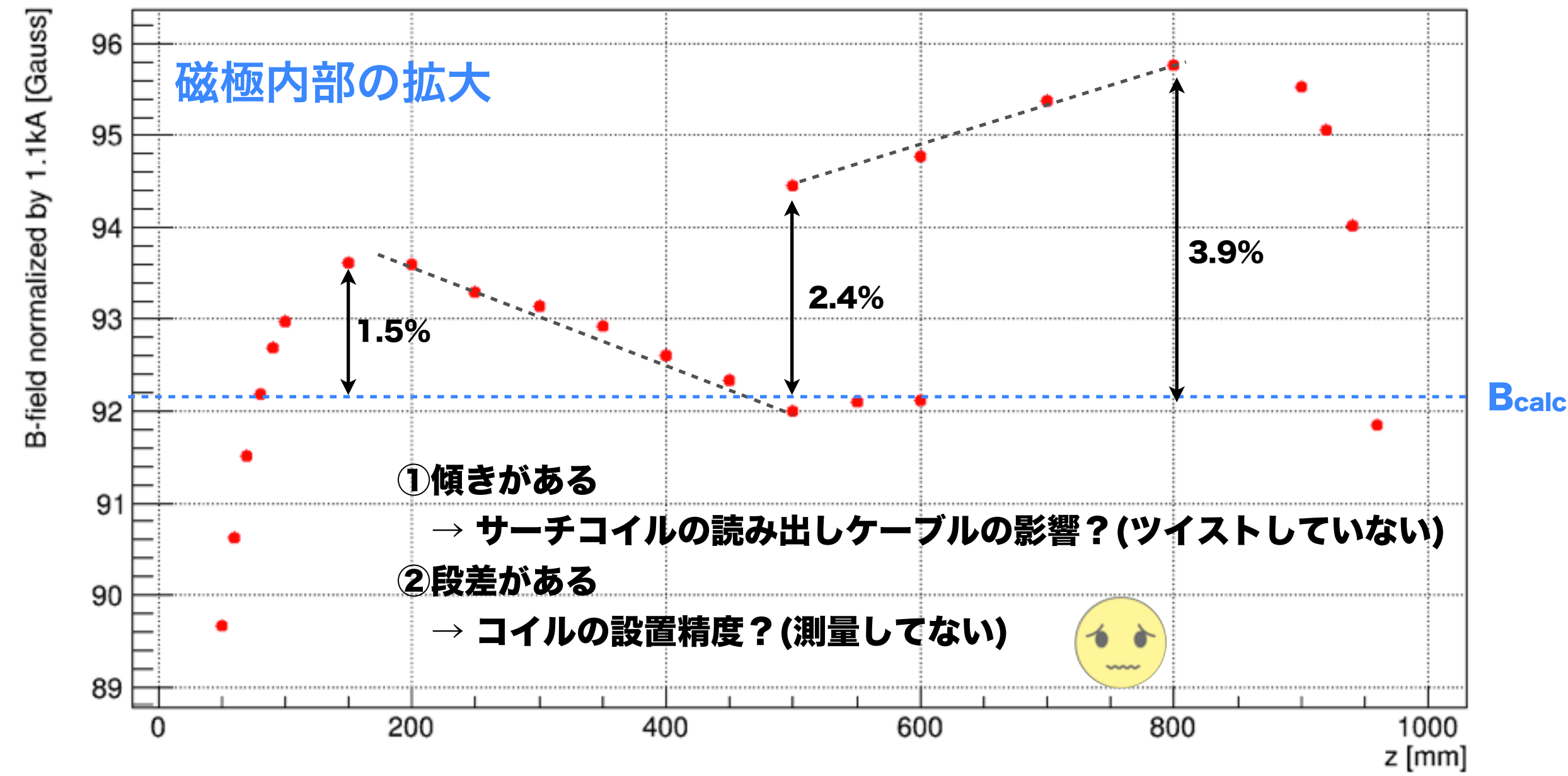
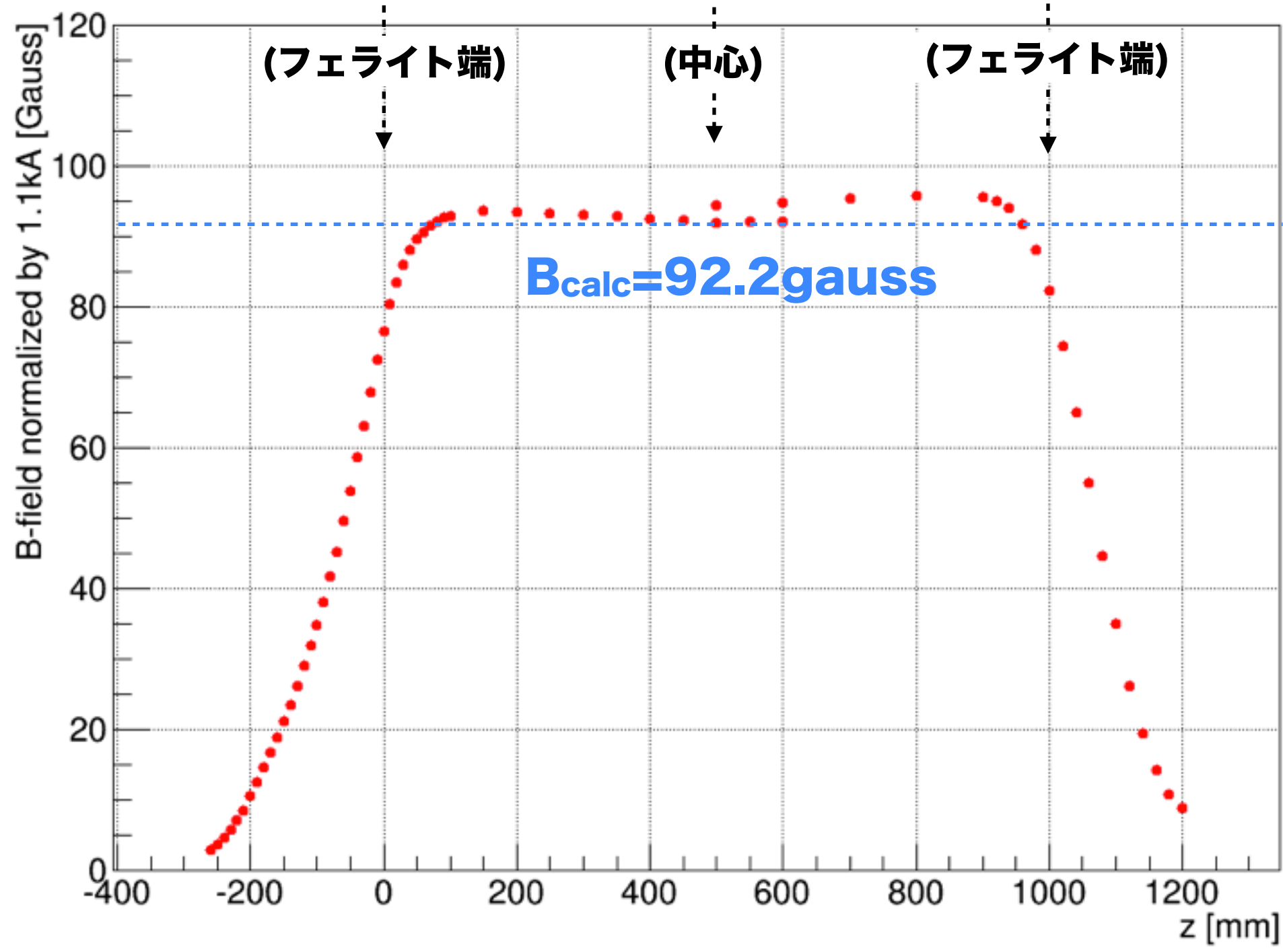
磁場測定2: 中心軸上の磁場分布



(PFL充電電圧40kV時)

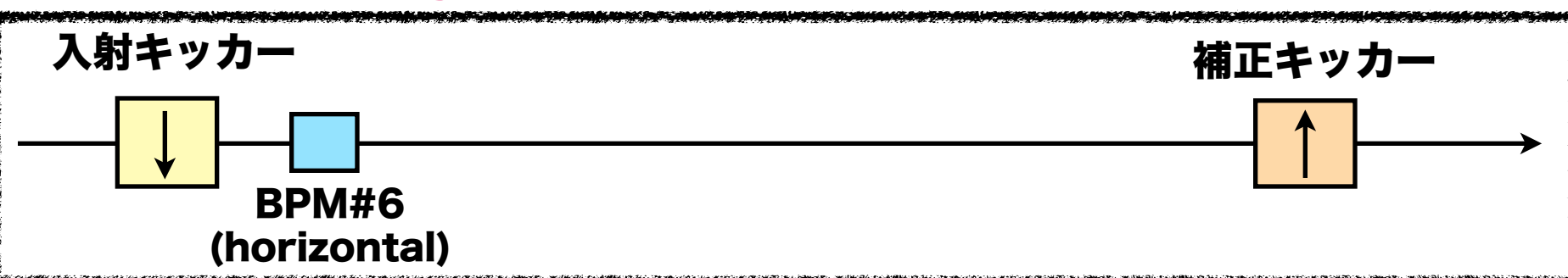
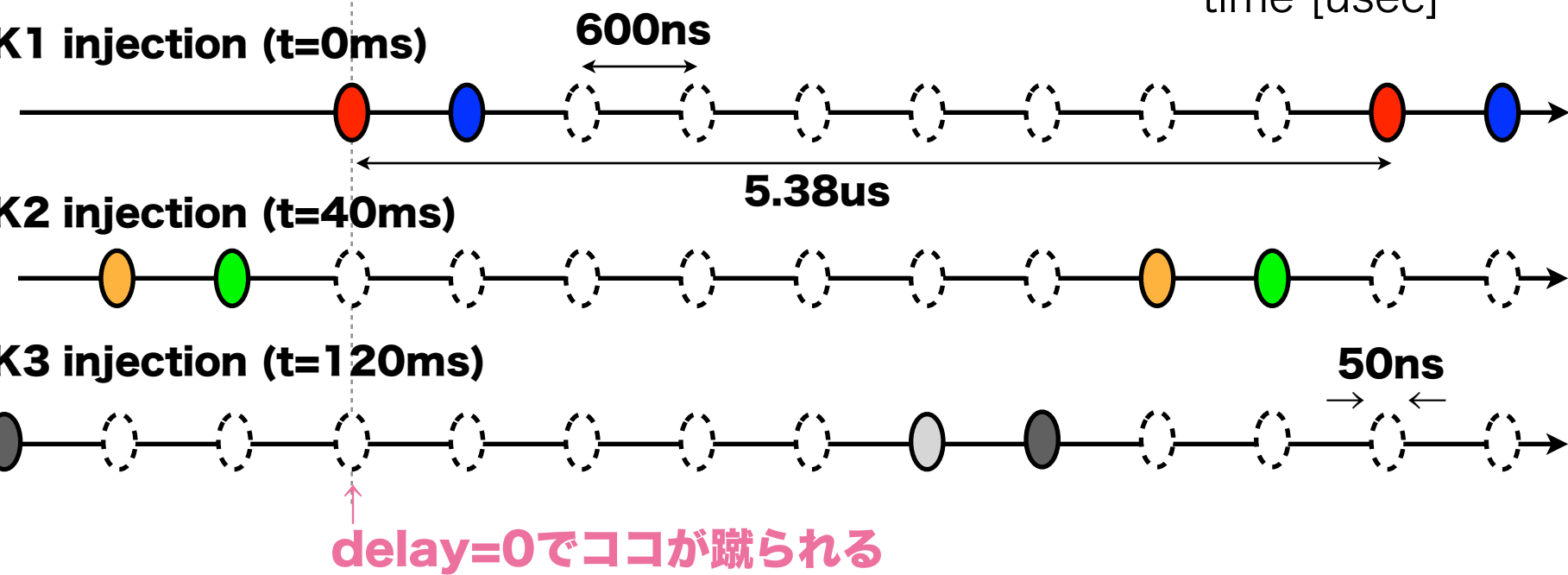
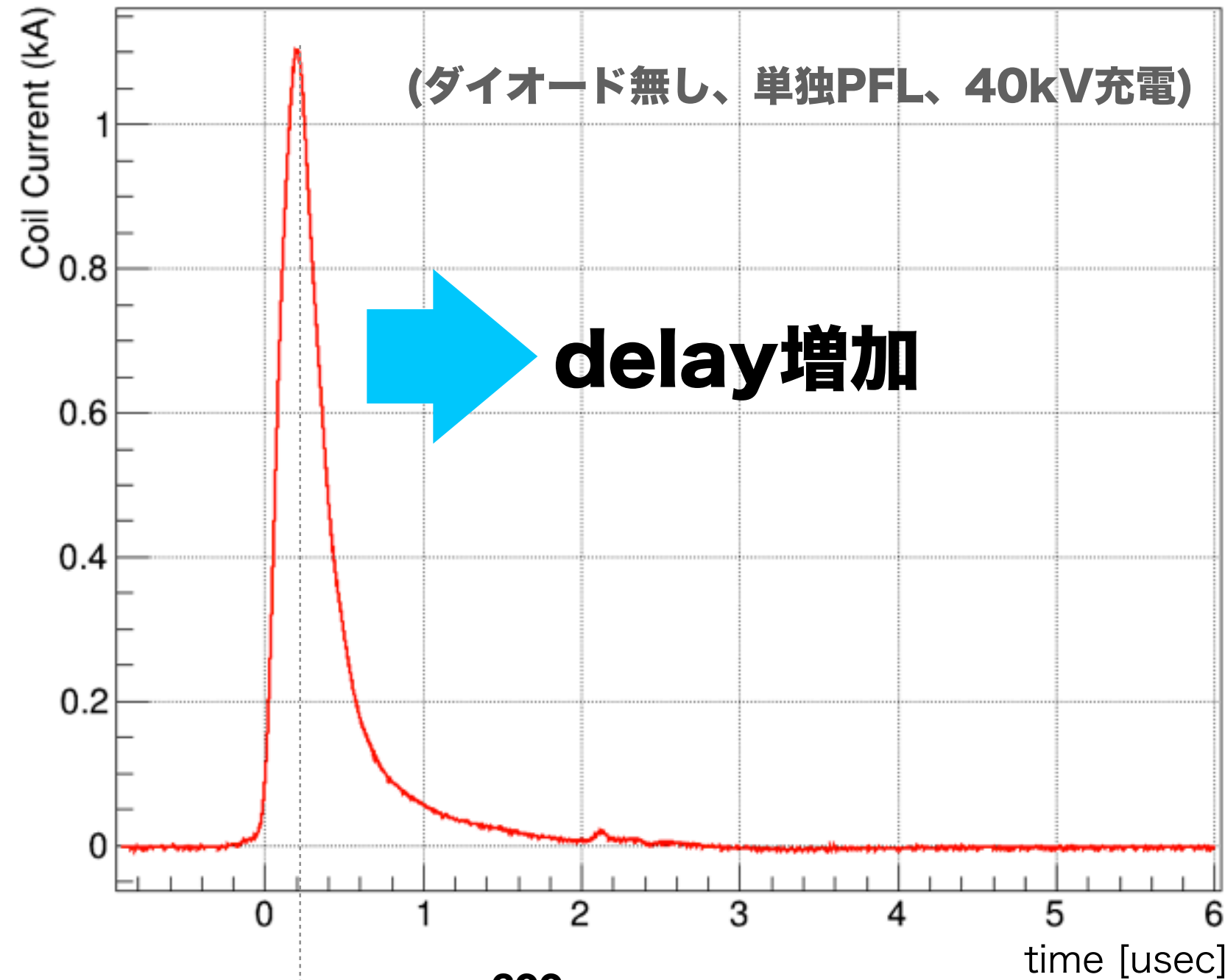
BL=0.011 [Tm] @1.1kA

→ 蹴り角: 0.85mrad @3GeV陽子

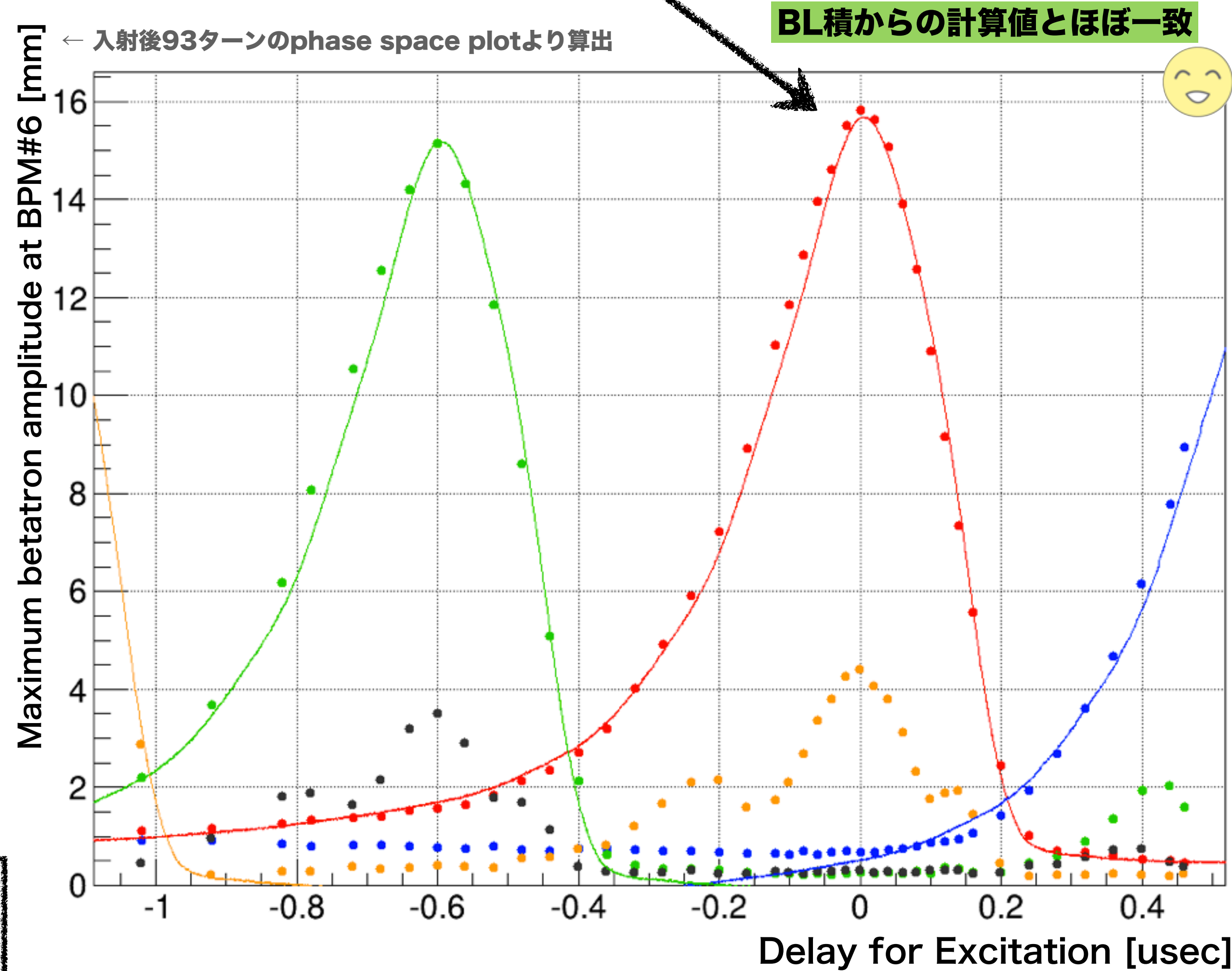


ビーム試験1: 蹴り角の評価

【電流波形とバンチの関係】

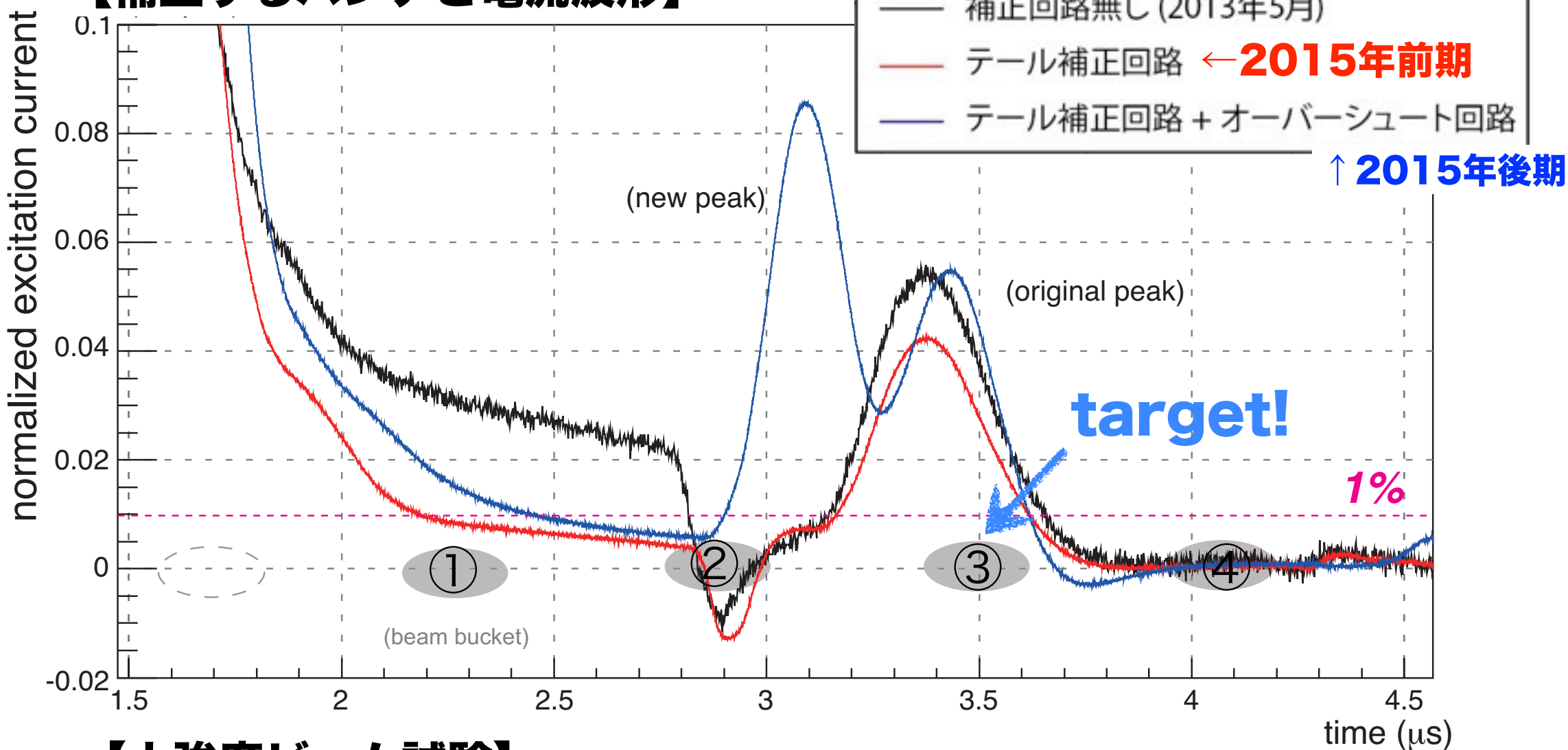


蹴り角=0.837±0.04mrad

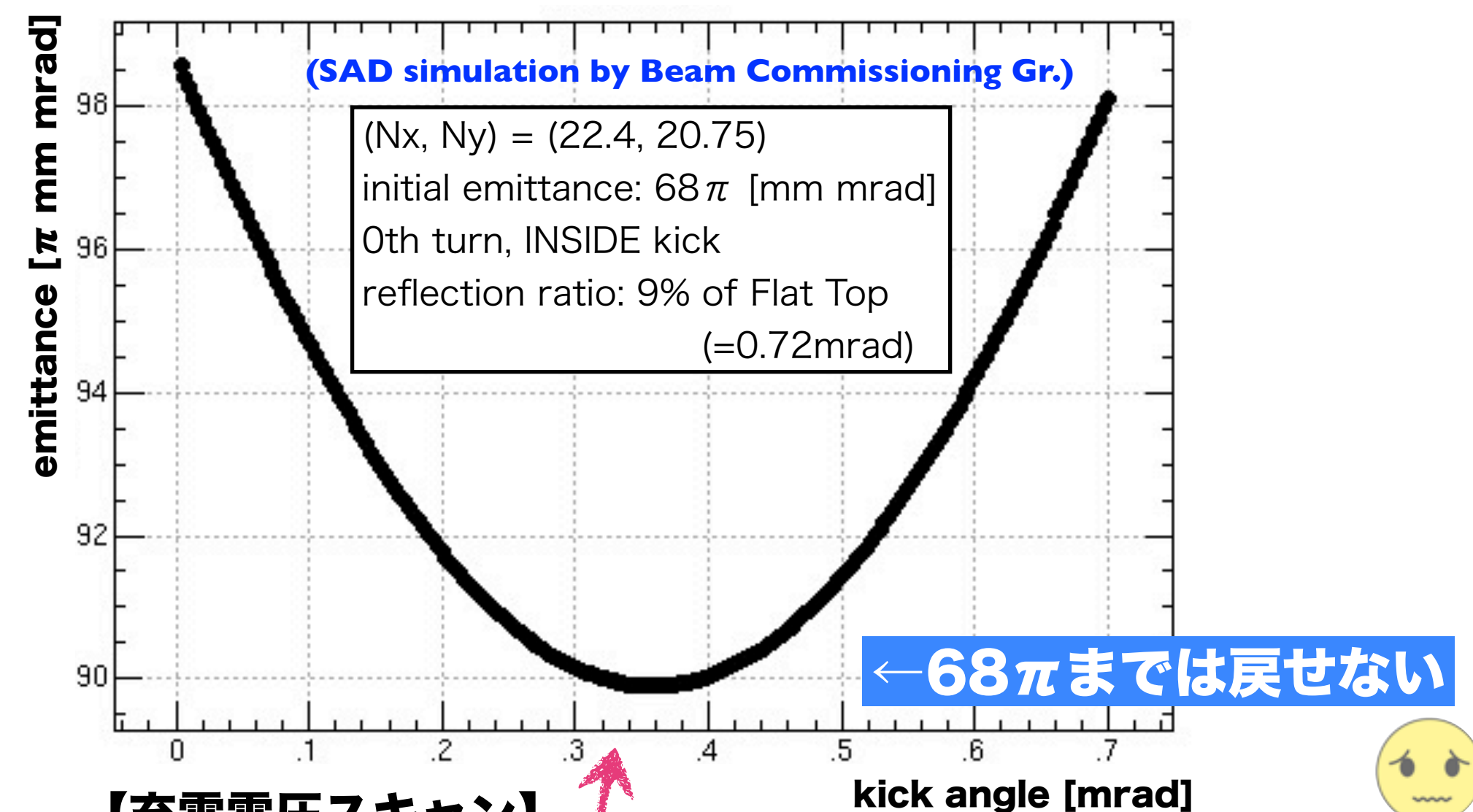


ビーム試験2: 1パルス分の補正

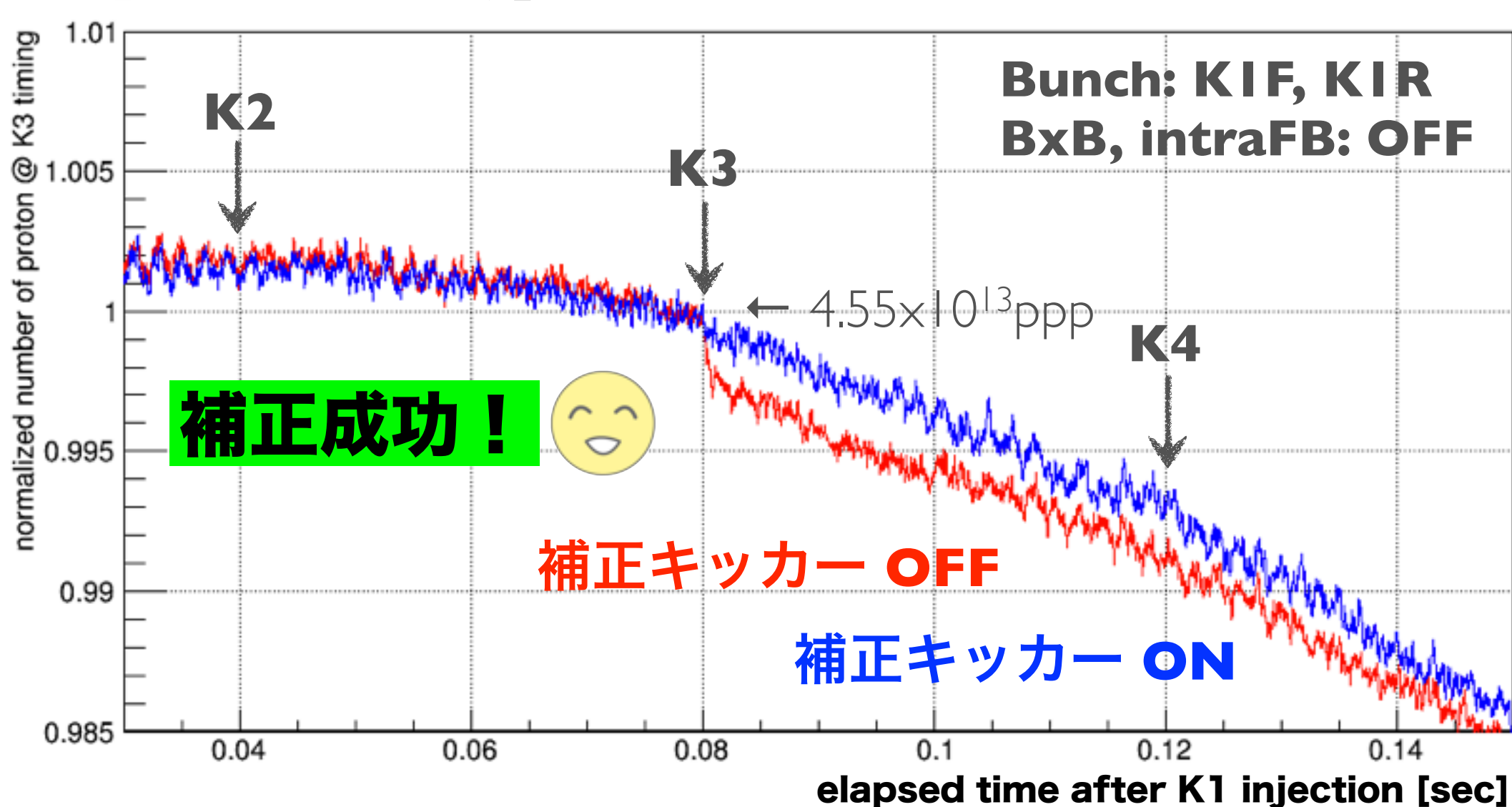
【補正するバンチと電流波形】



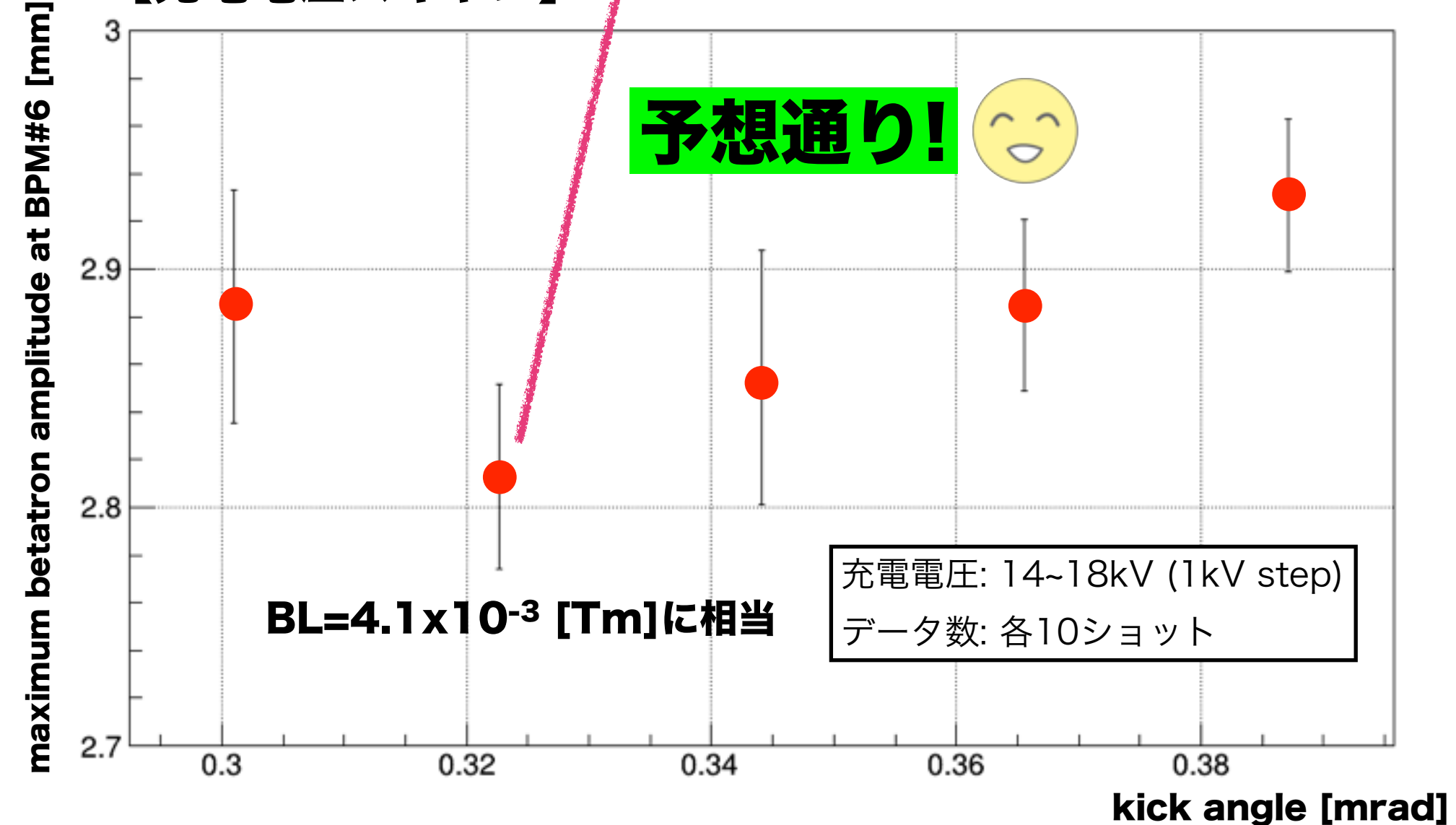
【補正キッカーの位置でのemittance】



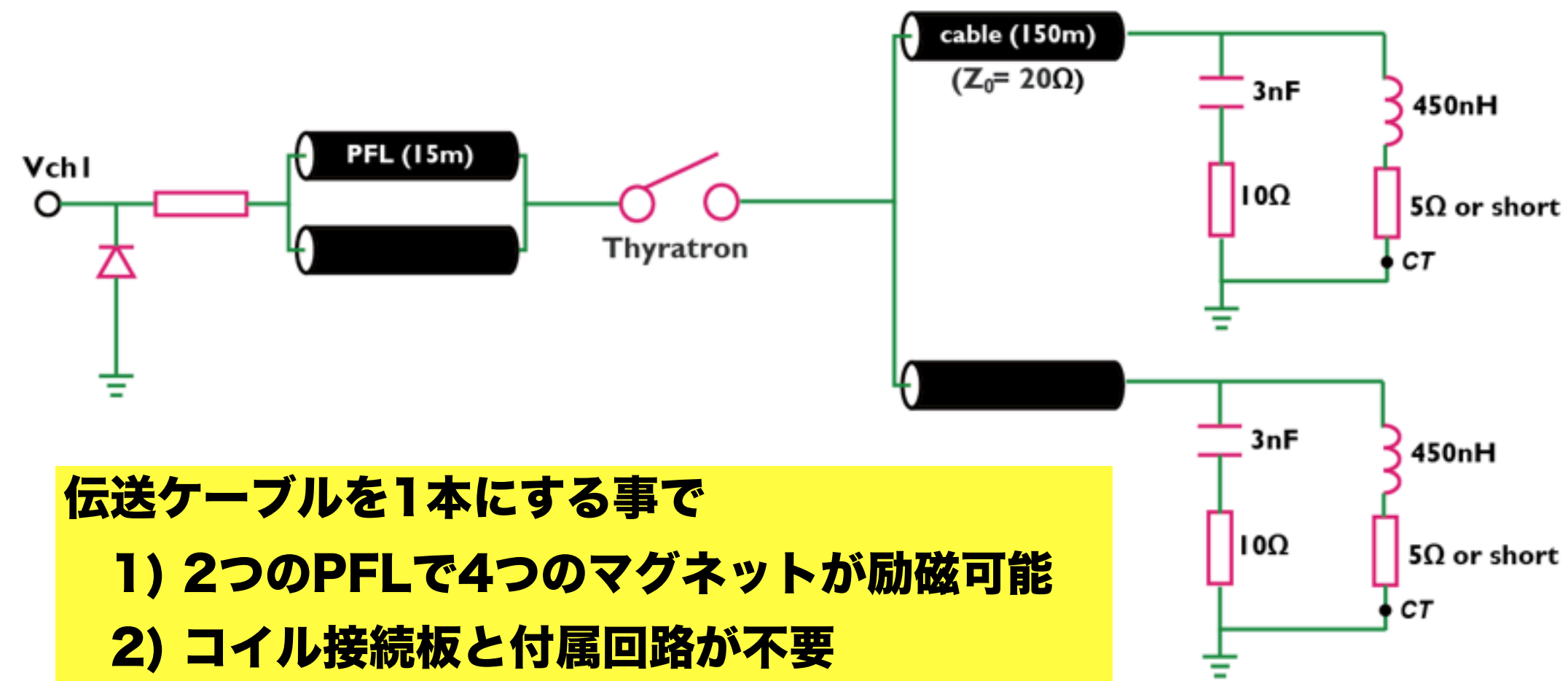
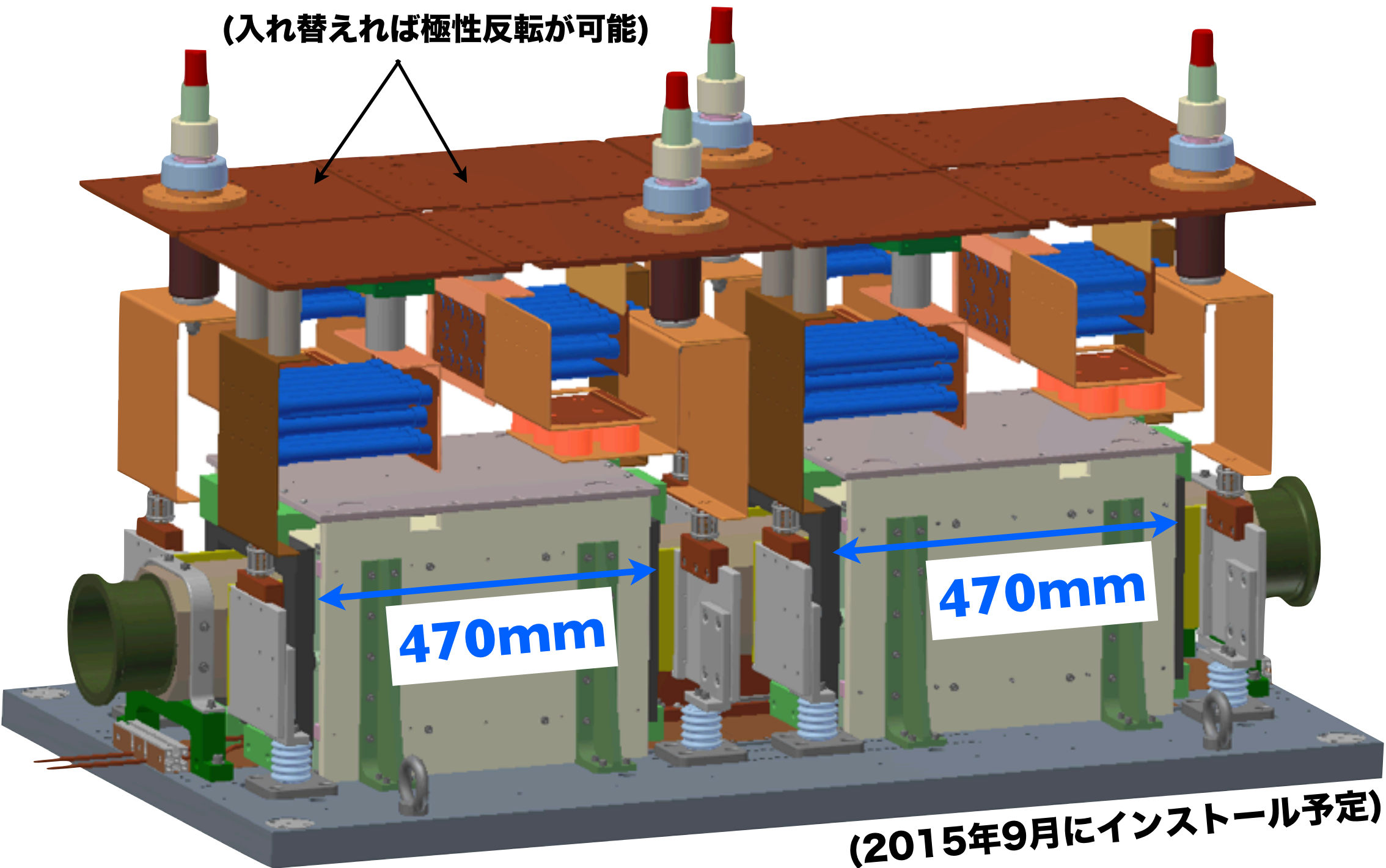
【大強度ビーム試験】



【充電電圧スキャン】



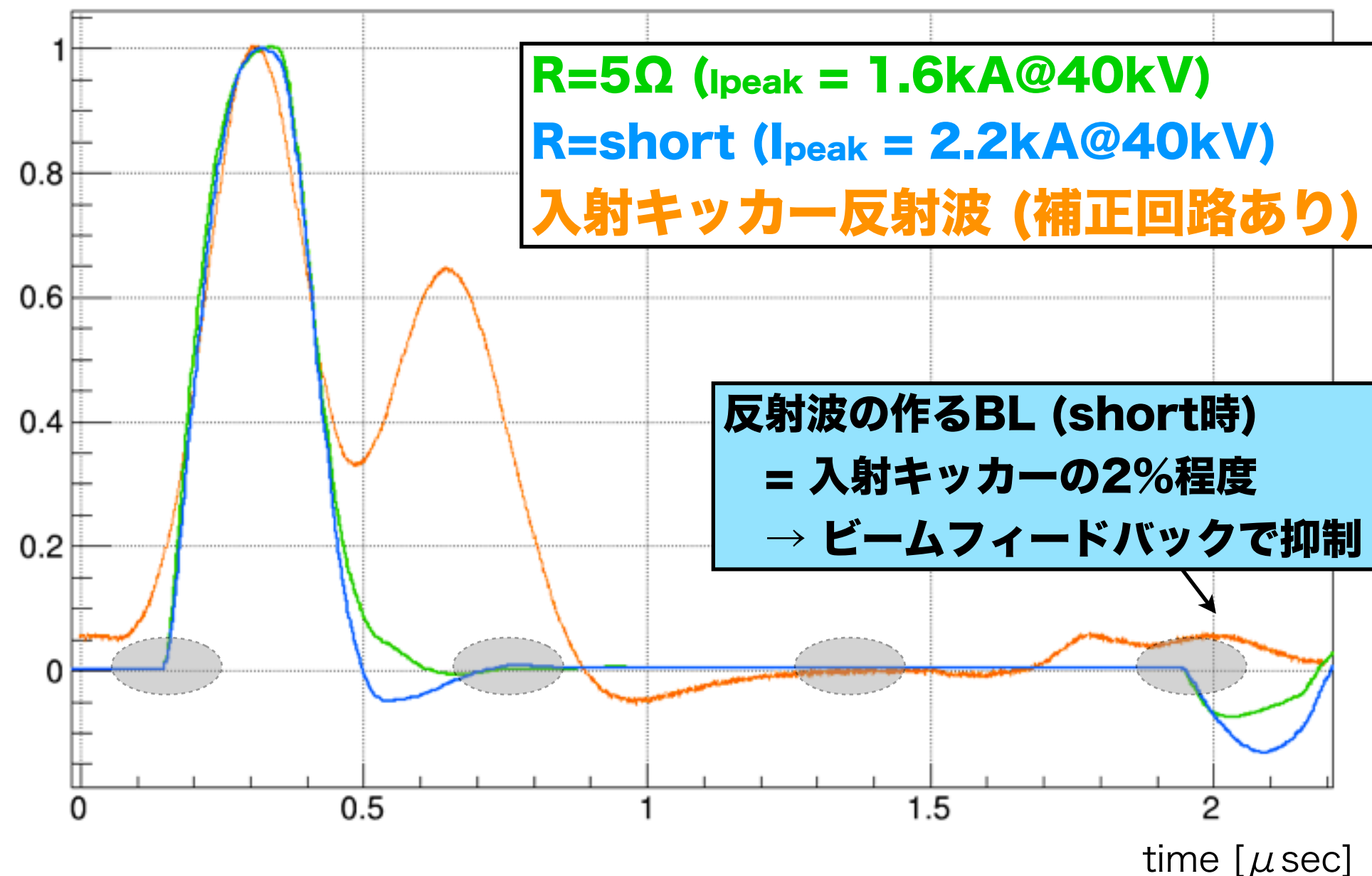
アップグレード計画: マグネットの分割



伝送ケーブルを1本にする事で

- 1) 2つのPFLで4つのマグネットが励磁可能
- 2) コイル接続板と付属回路が不要

= 入射キッカーで実績のある回路系になる



補正に必要なBL積は

$$BL_{5\%} = 4.1 \times 10^{-3} \text{ [Tm]} \rightarrow BL_{9\%} = 7.2 \times 10^{-3} \text{ [Tm]}$$

マグネットを分割すると

$$B_{9\%} = 7.2 \times 10^{-3} / 0.47 = 1.53 \times 10^{-2} \text{ [T]}$$

よって励磁電流は

$$I_{9\%} = 1.8\text{kA}, I_{5\%} = 1.0\text{kA} \quad (B = \frac{\mu_0}{h} I, h = 150[\text{mm}])$$

★ 入射補正キッカーの性能評価

磁場：BL=0.011 [Tm] @ 40kV充電

インピーダンス：共鳴ピーク無く、ビームもちゃんと回った

蹴り角：0.83 [mrad] @ 40kV充電

ビーム補正試験：0.32 [mrad] @ 15kV充電でemittance最小

電源：ダイオード整流方式は反射波が大きいため断念

★ マグネットの2分割

2つのパルス磁場を独立に生成して補正

励磁電流を増やすため、終端をショートさせる ($I_{max} = 2.2kA$)

9月にインストールして性能評価 (磁場、インピーダンス、蹴り角)