

2015 年度電磁石の進捗状況

- 6 極電磁石の設置
- ラスタリング制御系、インターロック系の構築
- 環境磁場調整用周回ケーブルの設置

原田、上田さん、長橋さん、中村先生、島田さん

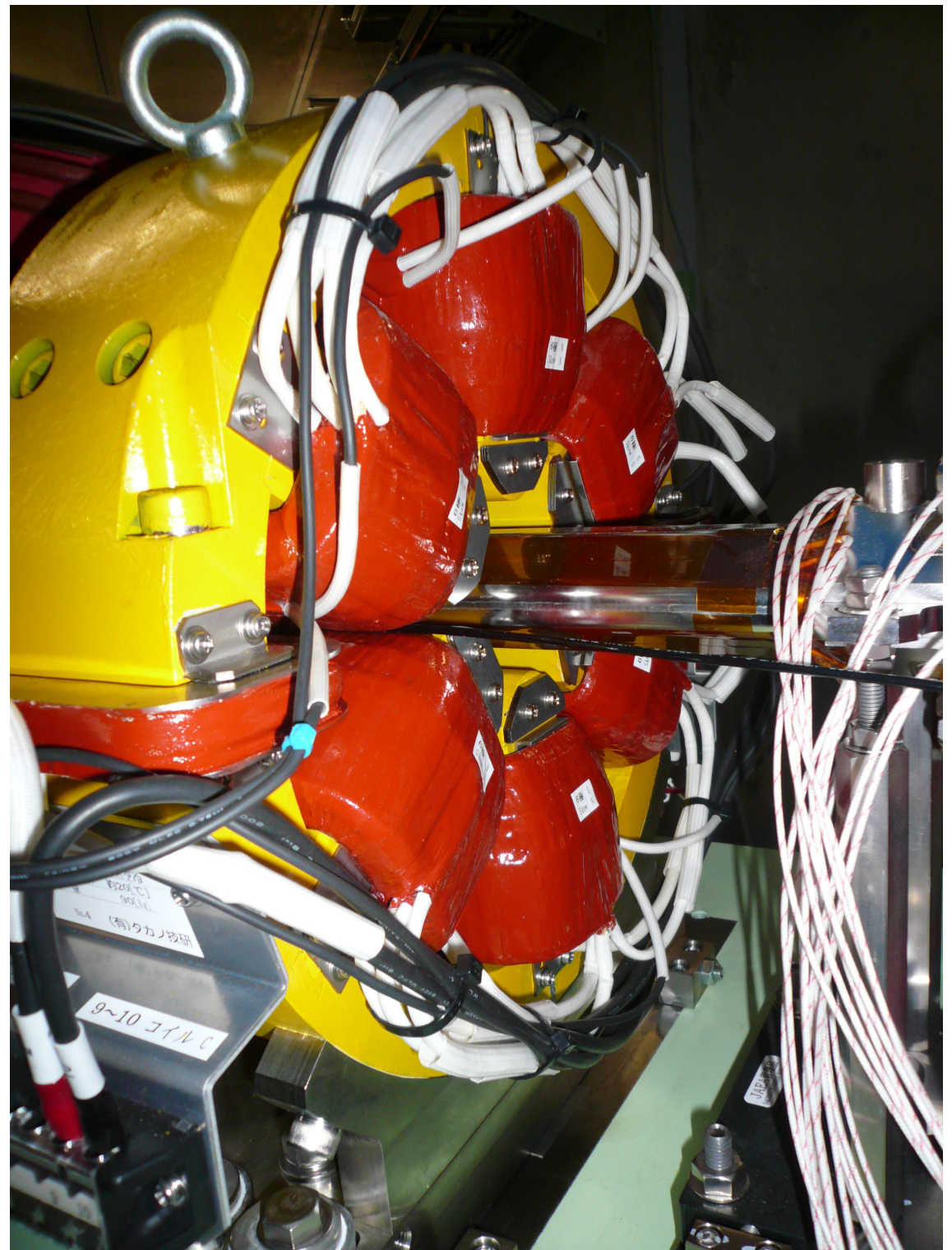
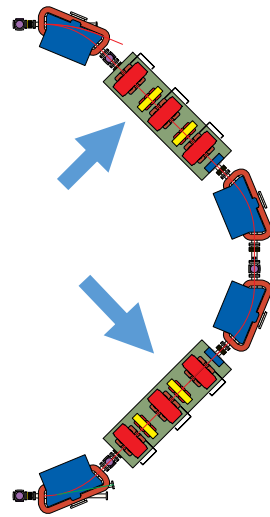
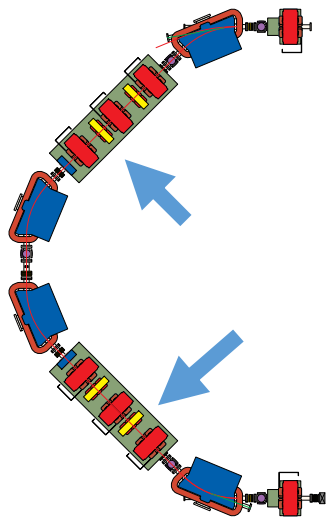
設計・設置：真空、モニタGの協力による。

ビーム調整・測定：宮島さん、島田さん、帯名さん、高井さん、本田(洋)さん、阪井さん、野上さん、他
制御系、配線：路川さん、亀田さん、沼田さん、浅川さん、他

多数の方の協力による。

6 極電磁石

- 弧部共通架台下流側に 1 台ずつ、合計 4 台設置。
- 2014 年度に 2 台製作、2015 年度にコイル改造。
- 2015 年度に 2 台製作。
- 2015 年 11 月に設置。

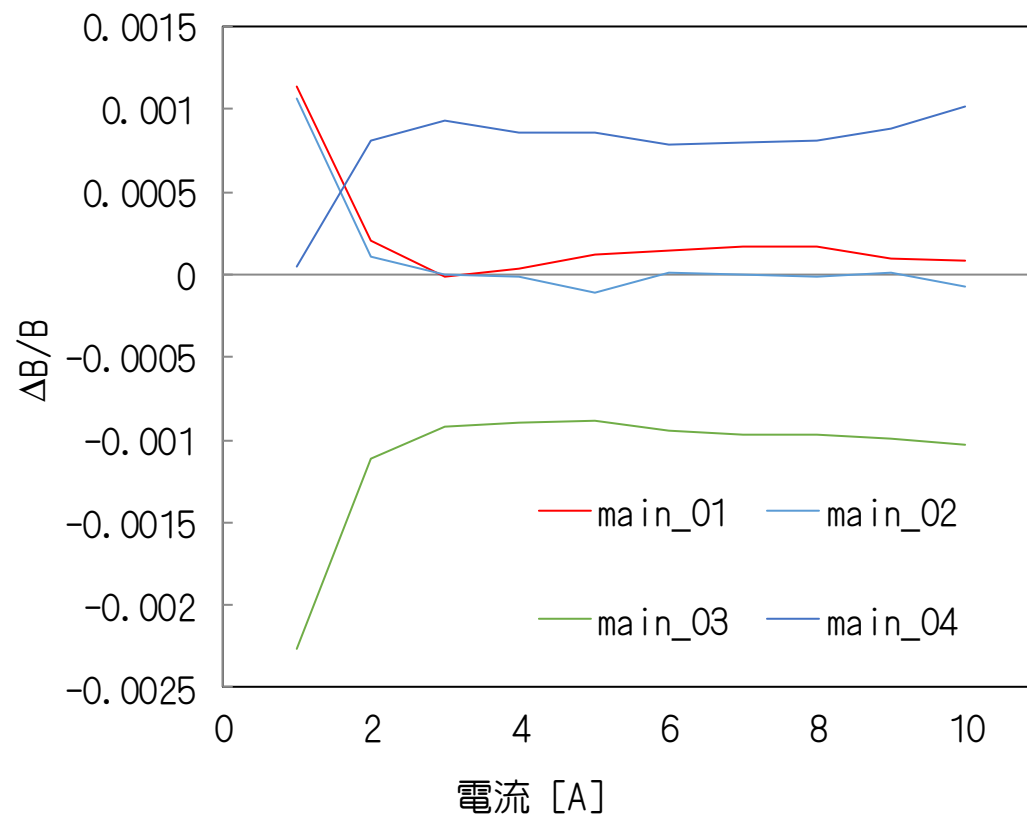
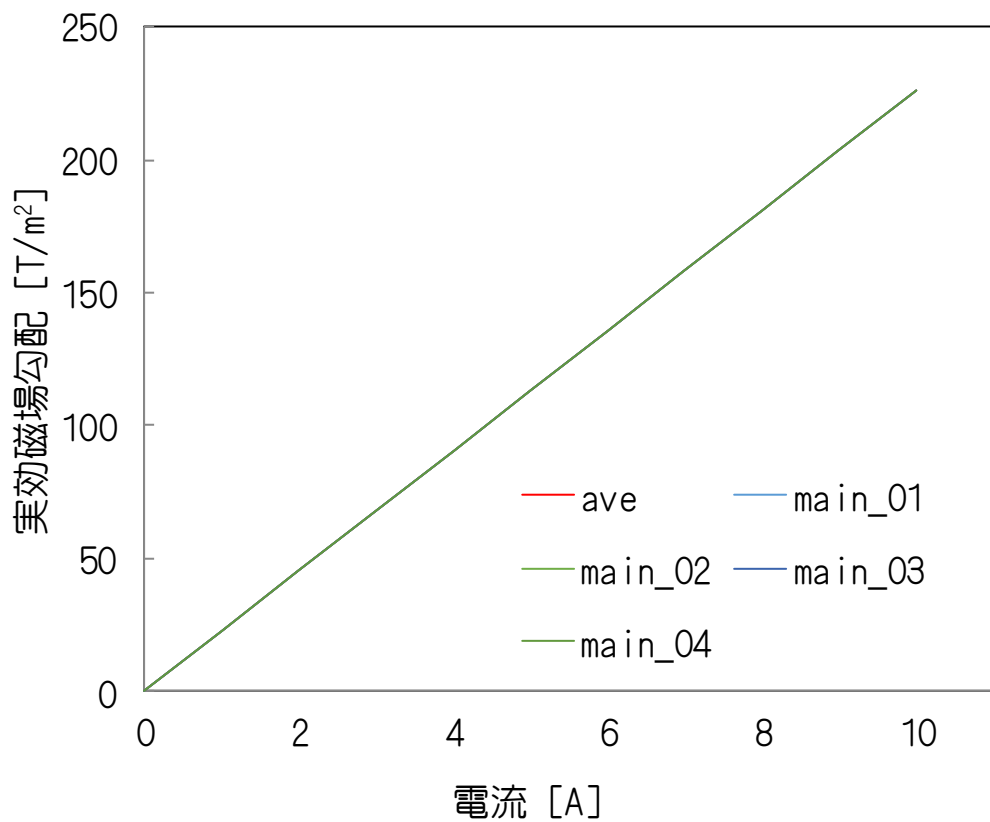


6 極電磁石の設置

- 目的：バンチ圧縮
- 軌道長の2次の運動量依存性 T_{566} を RF 加速電圧の曲率 ρ にあわせて補正。
($z=R_{56}(\Delta P/P)+T_{566}(\Delta P/P)^2$)
- コア長 10cm、ボア直径 7cm (ダクト菱形)、コイル 100 巻、空冷
- 最大電流 10A、実効磁場勾配 226T/m^2
- エンドシムの最適化による 18 極成分の補正で、有効磁場領域 6cm。
- ダクトを外さずに設置できる構造。(半割→下半分をダクトの下に滑りこませる→吊って下に板を入れる→復元。)
- ついでに skew 磁場を出して補正できるようにする。佐賀 LS の SX を参考に、補正コイルは上下磁極 20 巻ずつ、左右磁極 (4 ポール) 10 巻ずつ、10A で 0.4T/m 。

磁場測定

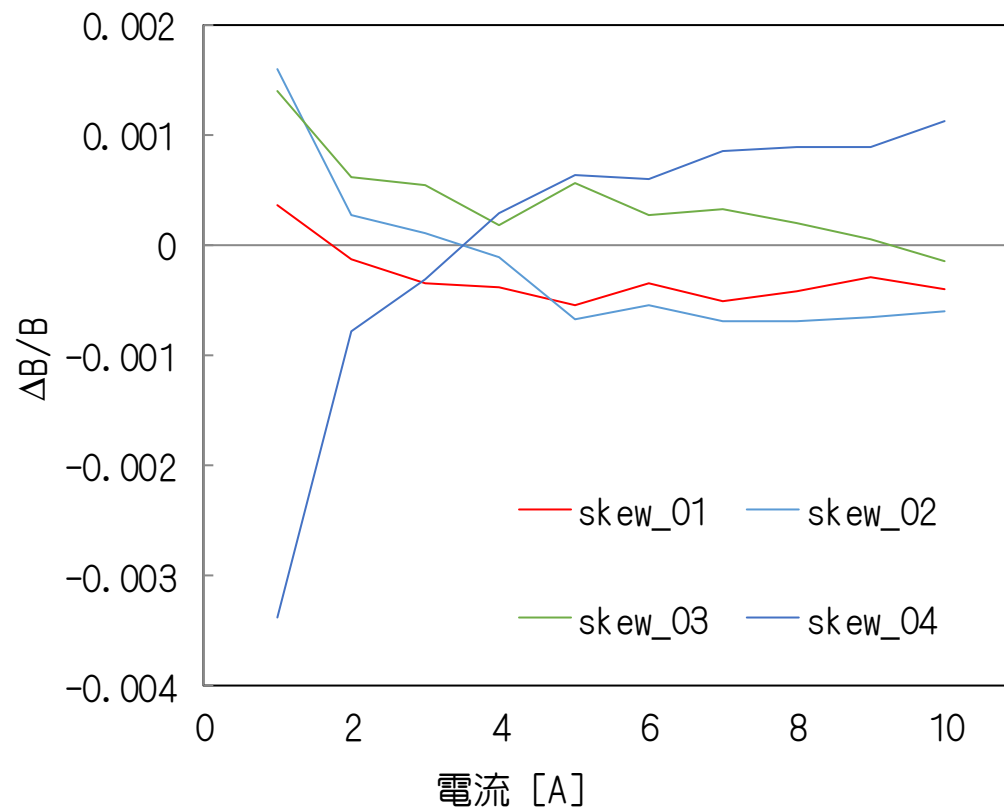
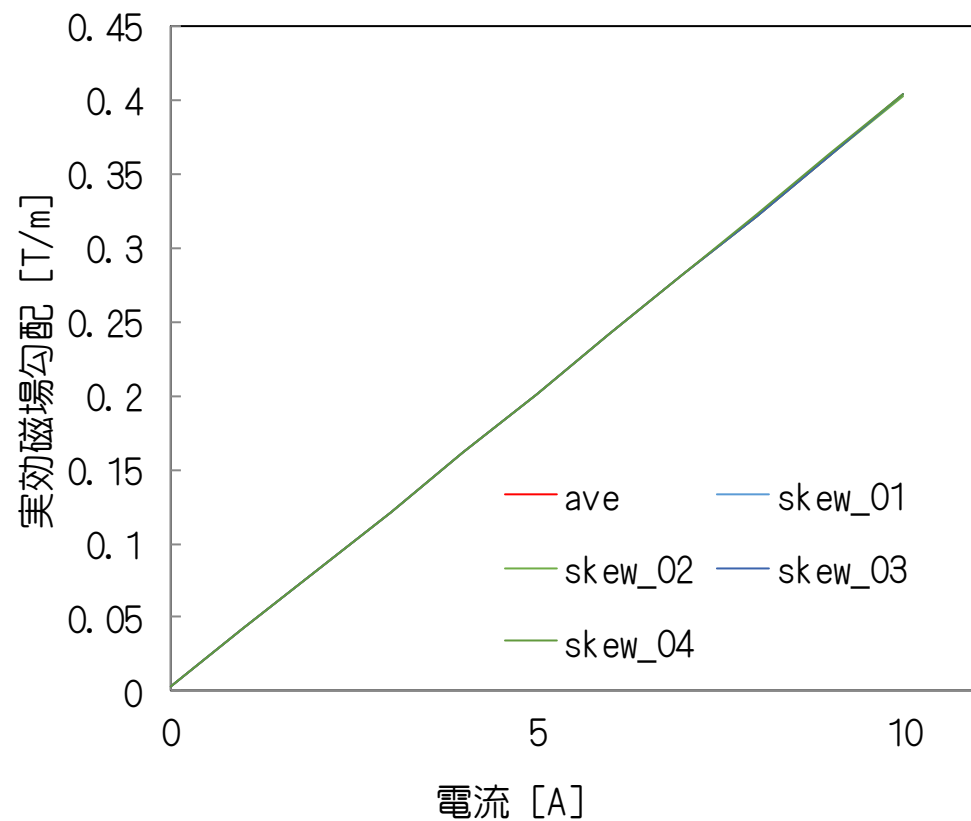
6極（メインコイル）



10A で 226T/m²、4 台のばらつき $\Delta B/B$ で 3~4 乗台。

磁場測定

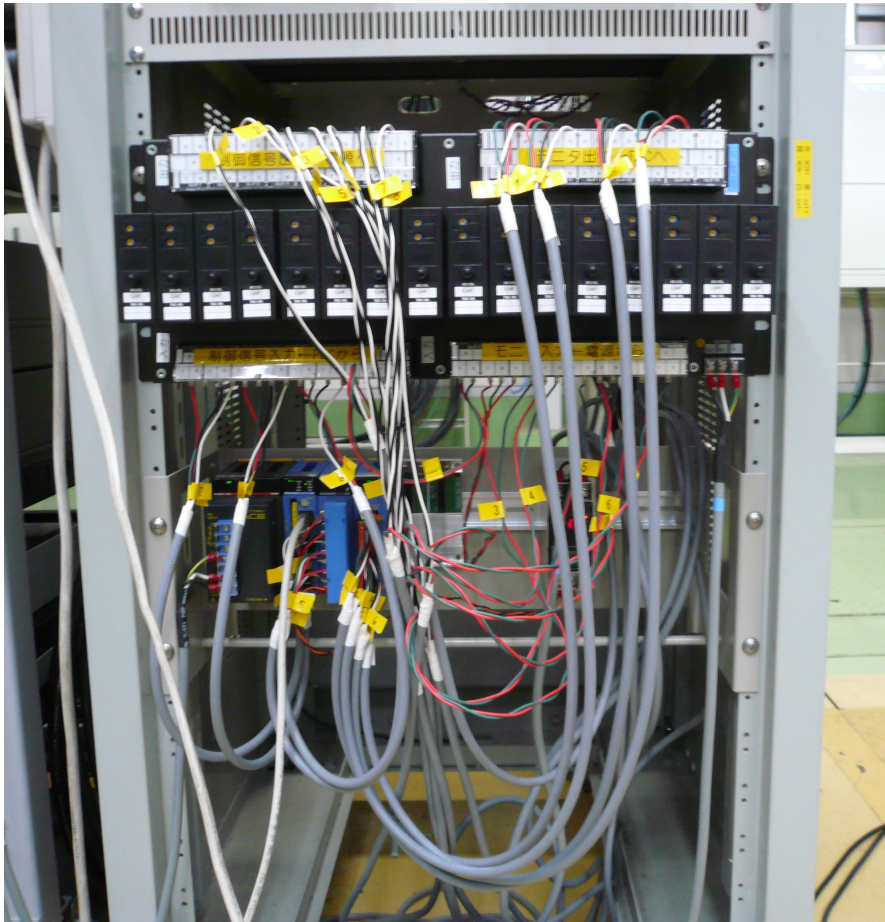
Skew4 極 (補助コイル)



10A で 0.4T/m、4 台のばらつき $\Delta B/B$ で 4 乗台 (2A 以上)。

電源と制御系

- 電源は PF の速い水平フィードバック用電源を流用。
(京都電子機器製、 $\pm 5A/\pm 40V$)
- 制御系は横河アイソレータ+PLC



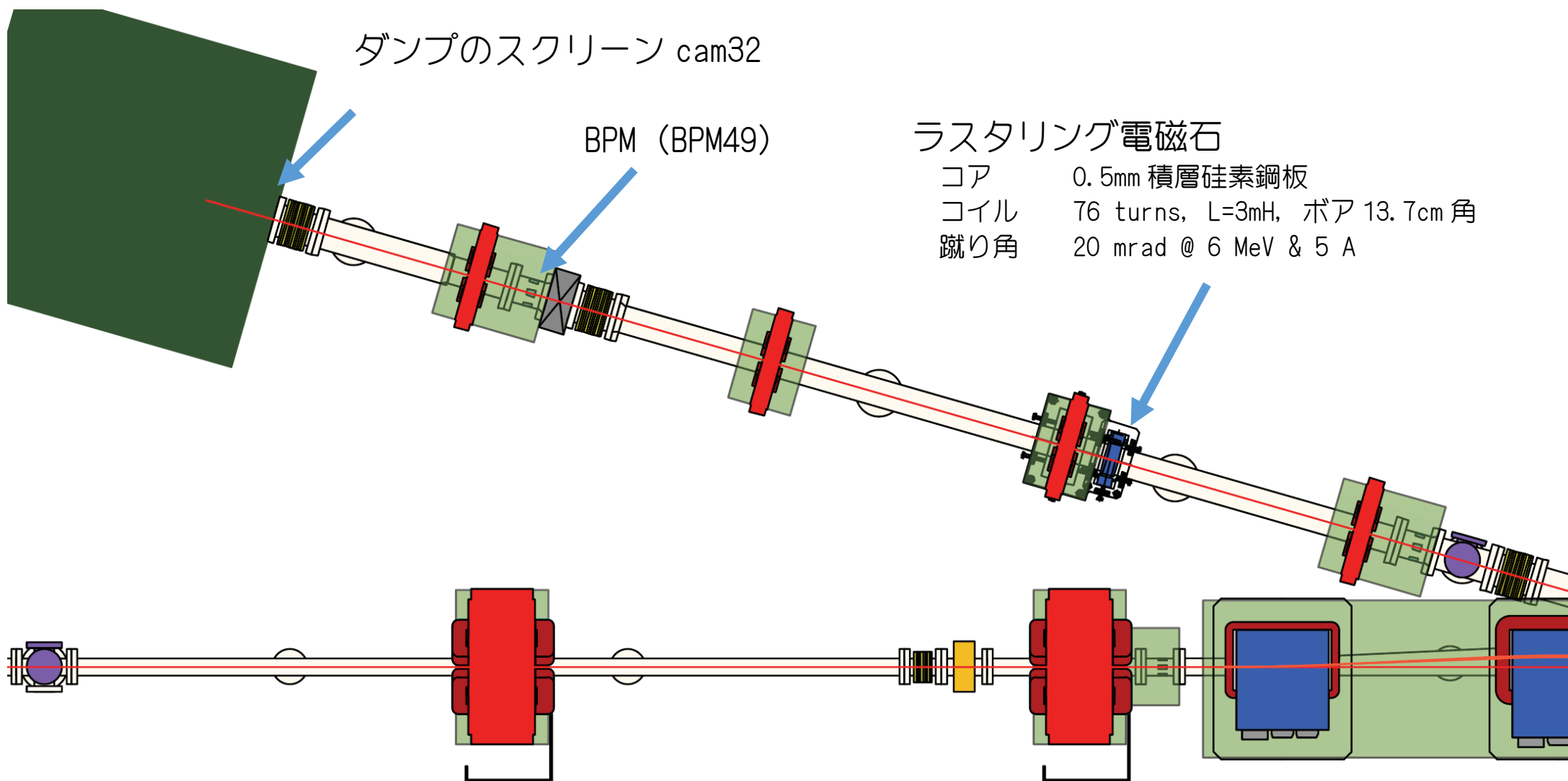
まとめ

- 設計精度、有効磁場領域、磁場勾配など問題なく製造、励磁できた。
- 位置精度の目標（位置 $\pm 50\mu\text{m}$ 以内、回転 $\pm 0.2\text{mr ad}$ 以内）で設置された。
- 安定に励磁でき、遠隔制御も OK。
- 役に立ったかどうかはまた別問題……

ラストリング系の立上げ

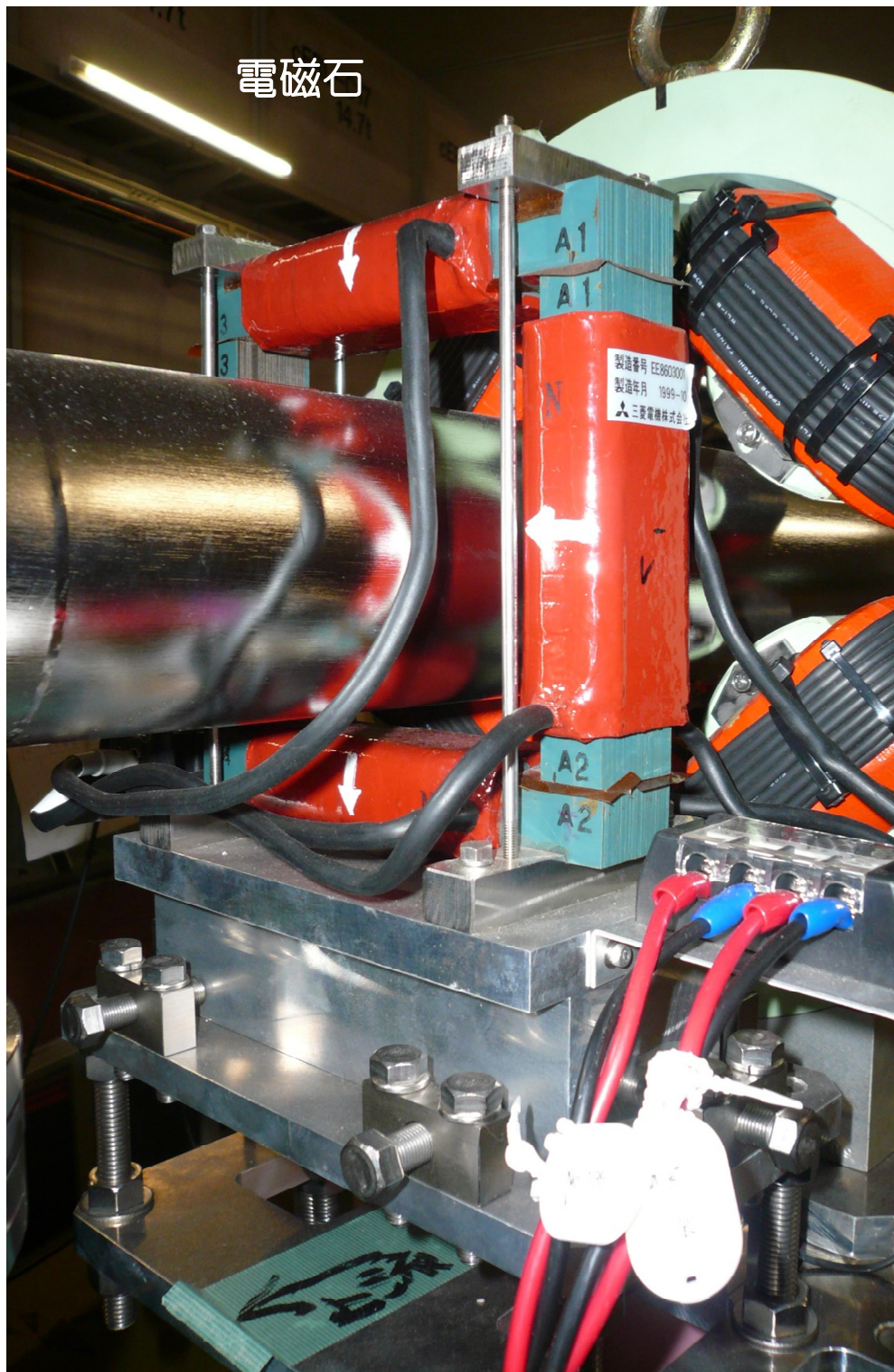
- 目的：CW 運転時のダンプの熱負荷分散
- 電磁石本体は建設時に設置、配線も敷設済。
- 電磁石は東大計画の速いFB用ステアリング試作品。
- 電源は東大物性研の速いFB用ステアリング電源/SP8 東大 BL の位相器電源の再利用。
- 制御系はアジレント製の任意波形発生器、正常にラストリング中かどうかを判断するインターロック検出器は特注設計で2015年度に製作。
- 電磁石はセラミックでもベローでもなく、普通の2mm厚SUSダクトに設置。10Hzは問題ないが、1kHzは無理。
- 2015年6月に試験運用、2、3月にインターロックありで運用。

ステアリング配置



ダンプまで約 3m、4 極を考えなければ 20mrad で片側 6cm 振れる。
実際は 4 極変えたら振幅の再調整が必要。

電磁石

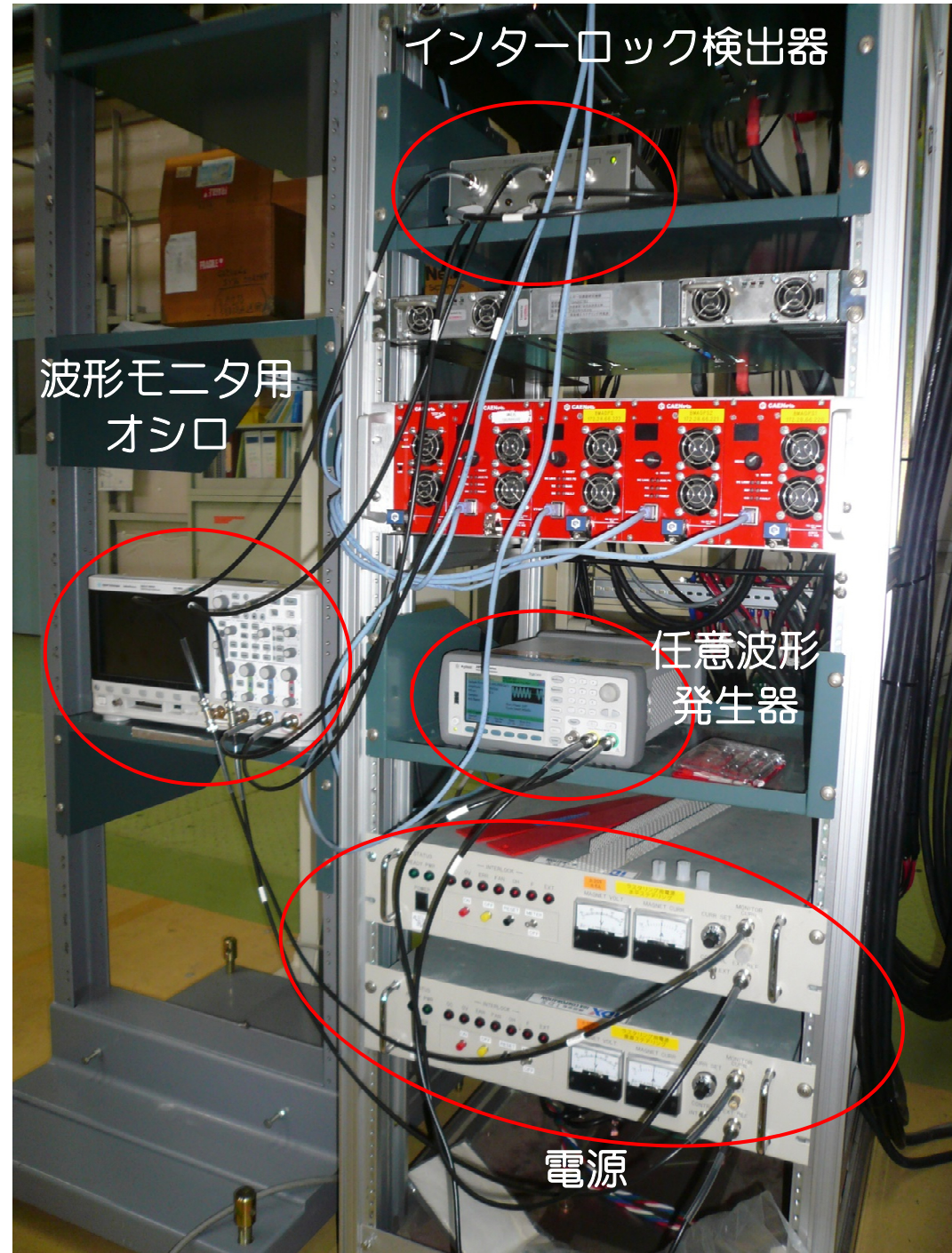


インターロック検出器

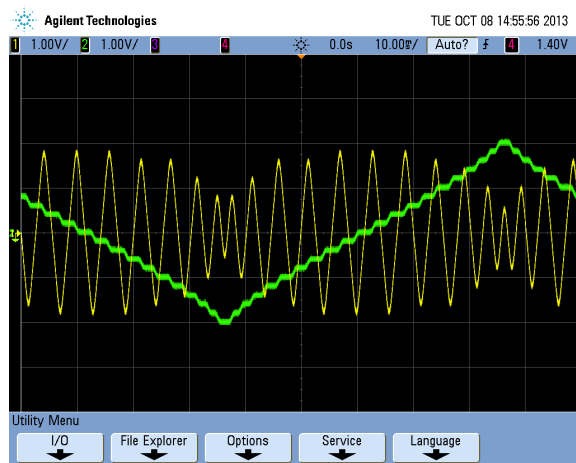
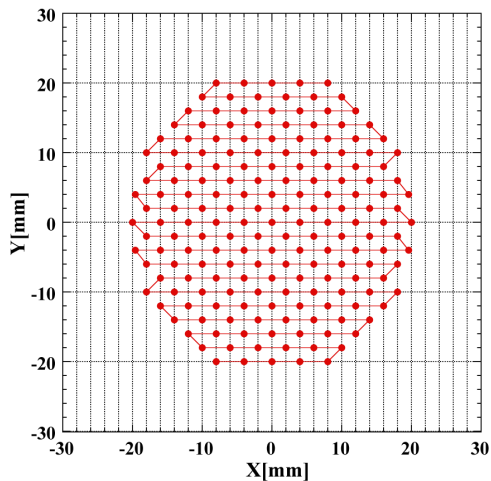
波形モニタ用
オシロ

任意波形
発生器

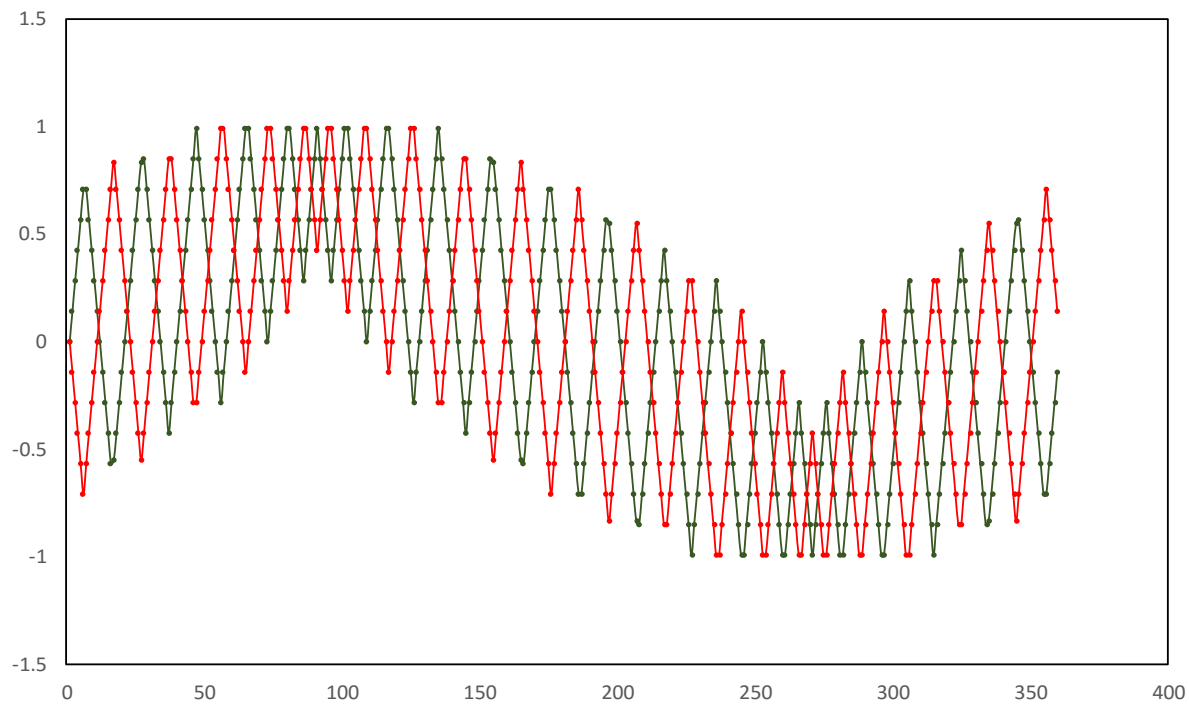
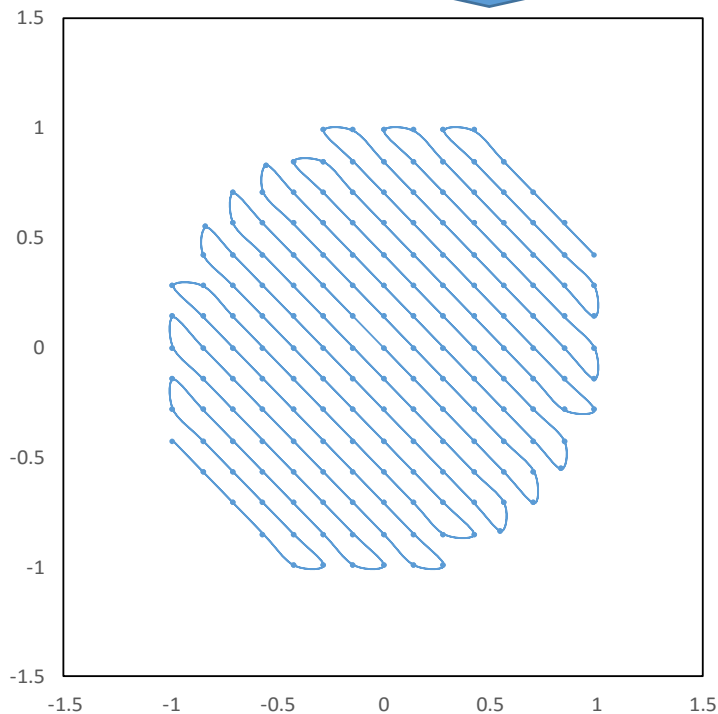
電源



波形の改善



- 左右に振りつつ上から下になめっていくパターンから、斜め45度のパターンに変更。
- XY がほぼ同じ周波数、振幅を持つ波形になり、インターロックがかけやすくなった。

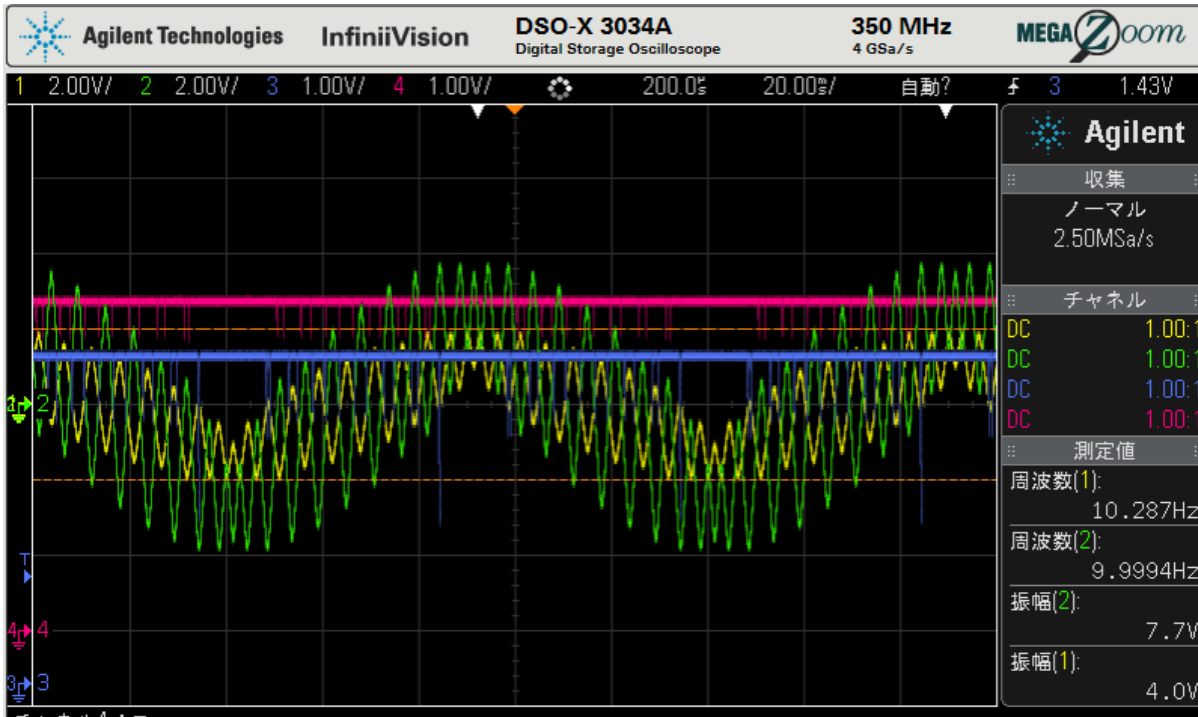


インターロック検出

- 10Hz で動いているものを 10Hz より速く検出するのは無理。
- 必ずゼロクロスするし、端では振幅は小さくなる。途中で止まることもある。DC 成分だけでも AC 成分だけでも検出は不十分。
- 抜本的には十分速く振るしかないが、ハード的に難しい。

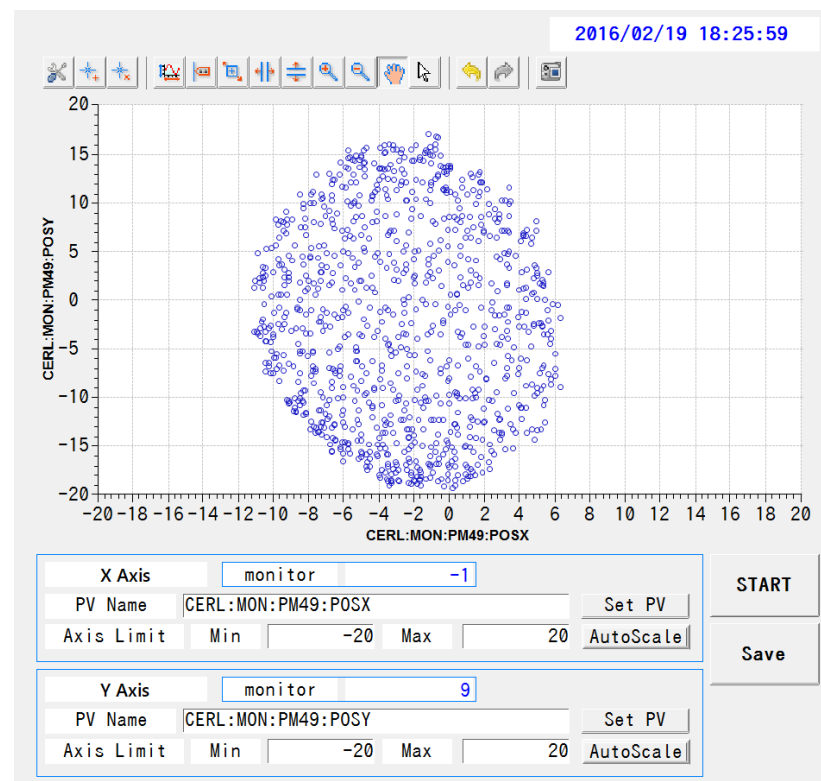
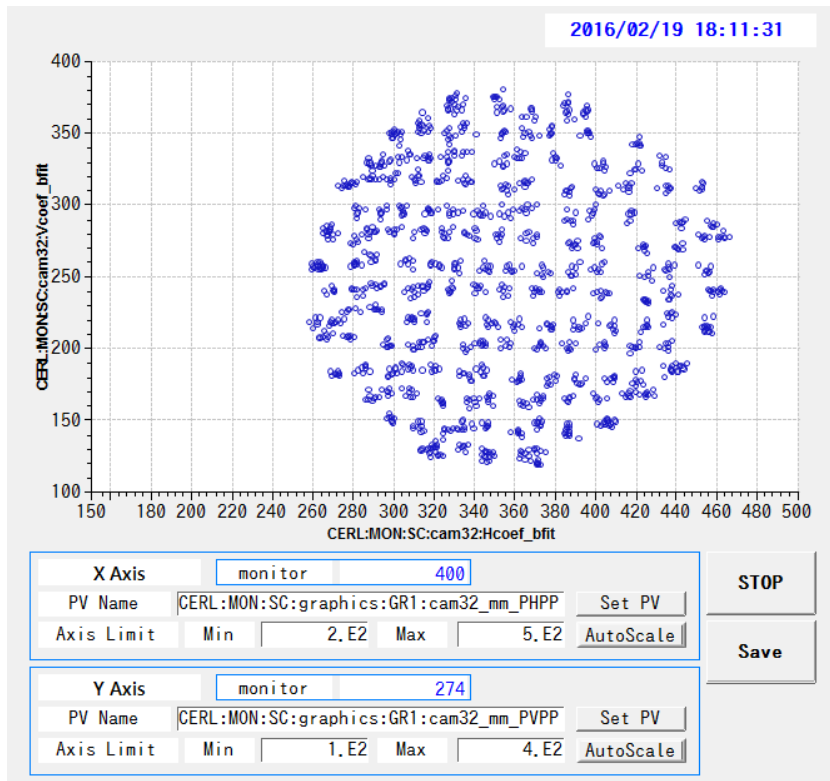
- 2 段構えで検出
 - 止まった時の検出：初段で DC カット、AC 平均電圧検出。AC 的に動いてなかったらある時定数で ILK ON。(遅い検出)
 - 電源落ちた時の検出：AC 成分をアンプし、飽和させて AC の ON/OFF 的な波形を作る。100kHz クロック信号と和をとり、AC ON 時だけ残ったクロック信号をある時定数で積分し、それが閾値を切ったら ILK ON。(速い検出)
 - (これで十分な速さかはまだ検討課題。)

- 実際の運用は 9.99Hz (360 点あるので、3596.4 点/sec) で掃引。BPM、SCM もエイリアシングで数分周期で全体を追える。



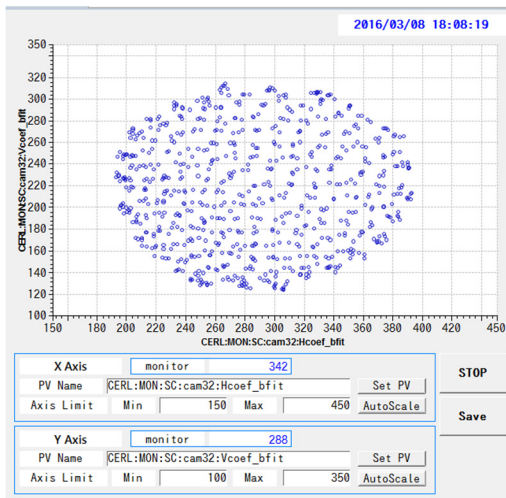
試験運用

- BPM、SCM で観測。問題なし。
- 振幅と周波数を決め、現場でインターロック検出器の閾値を調整。
- ケーブルを抜く、電源を OFF する、などでインターロックが検出器が働くことを確認。



本番？

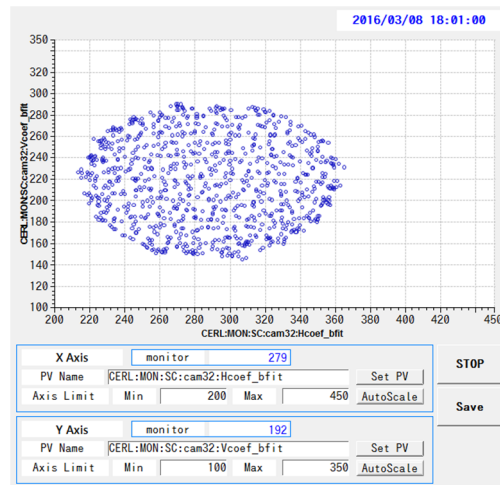
- 施設検査でも ON (以下、3/8 17:00 頃のログ)。
- ダンプはビームが一様分布の場合、 $\phi 4\text{cm}$ で 40kW 受けられる設計。
- 2.4MeV, 1mA (2.4kW) では、一様分布では $\phi 1.3\text{cm}$ 以上にする必要がある。分布の非一様性を考慮し、 $\phi 2\text{cm}$ を目標に調整。ビームサイズ SCM32 で 2.5mm(H) \times 1.6mm(V) くらい。



パターン1

H:2.0V, V:1.5V

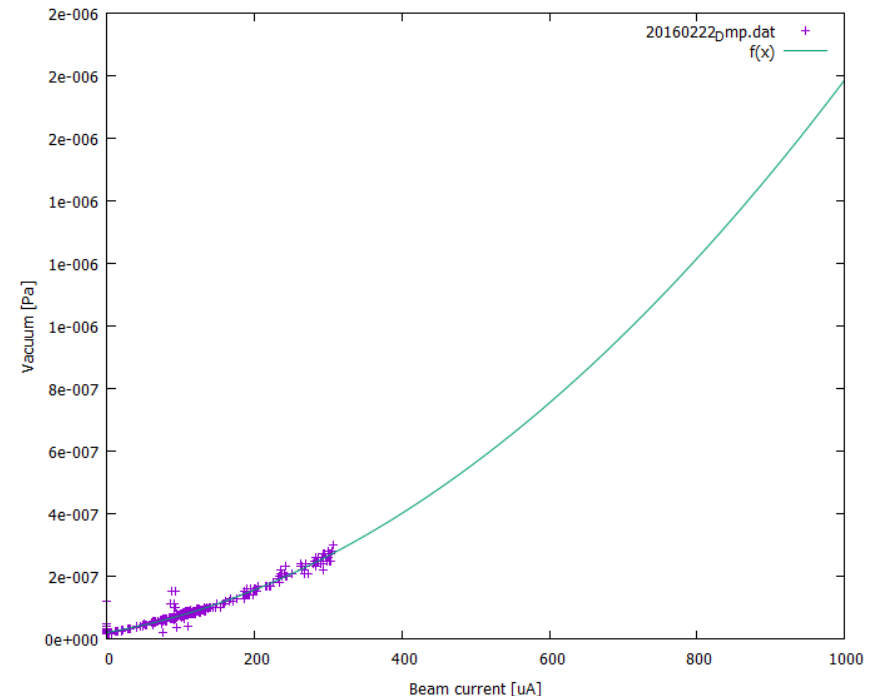
20mm \times 18mm



パターン2

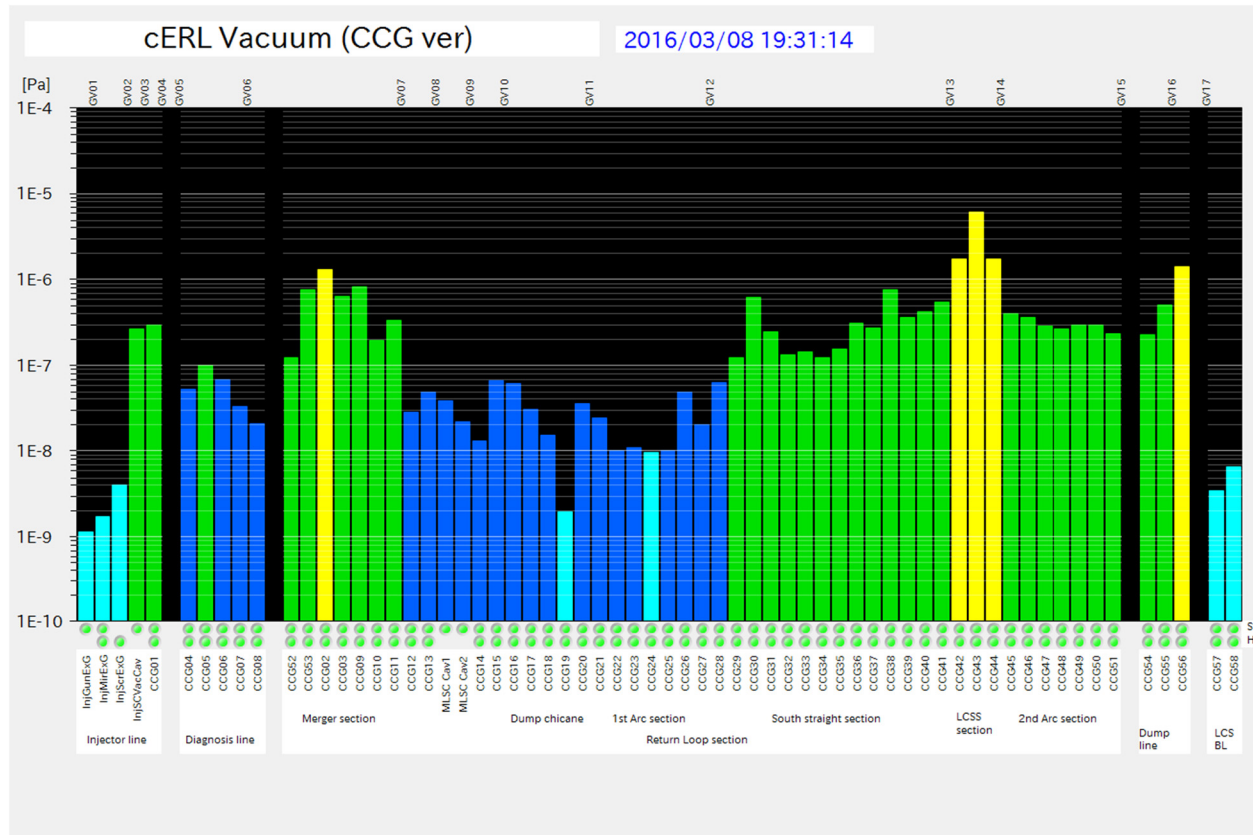
H:1.5V, V:1.125V

14mm \times 14mm



- 2パターン試したが、パターン1だと放射線が増大した為、事前調整時の振幅 (パターン2) で運転。
- 真空の予想は 0.9mA で約 $1.6 \times 10^{-6}\text{Pa}$ 。

- 0.9mA 運転時の真空。



- 0.9mA で約 1.6×10^{-6} Pa になっている。

まとめ

- 制御系、インターロック系を構築し、ラスタリングを立ち上げた。
- ラスタリングによってダンプの熱負荷分散が実現できている。
- 施設検査本番でもそれなりに役に立った。
- 10mA 運転に向けては、周波数とインターロック速度の検討が必要。(閾値の調整をしたとして、現行システムで最長で止まるまで何 ms かかるか?)

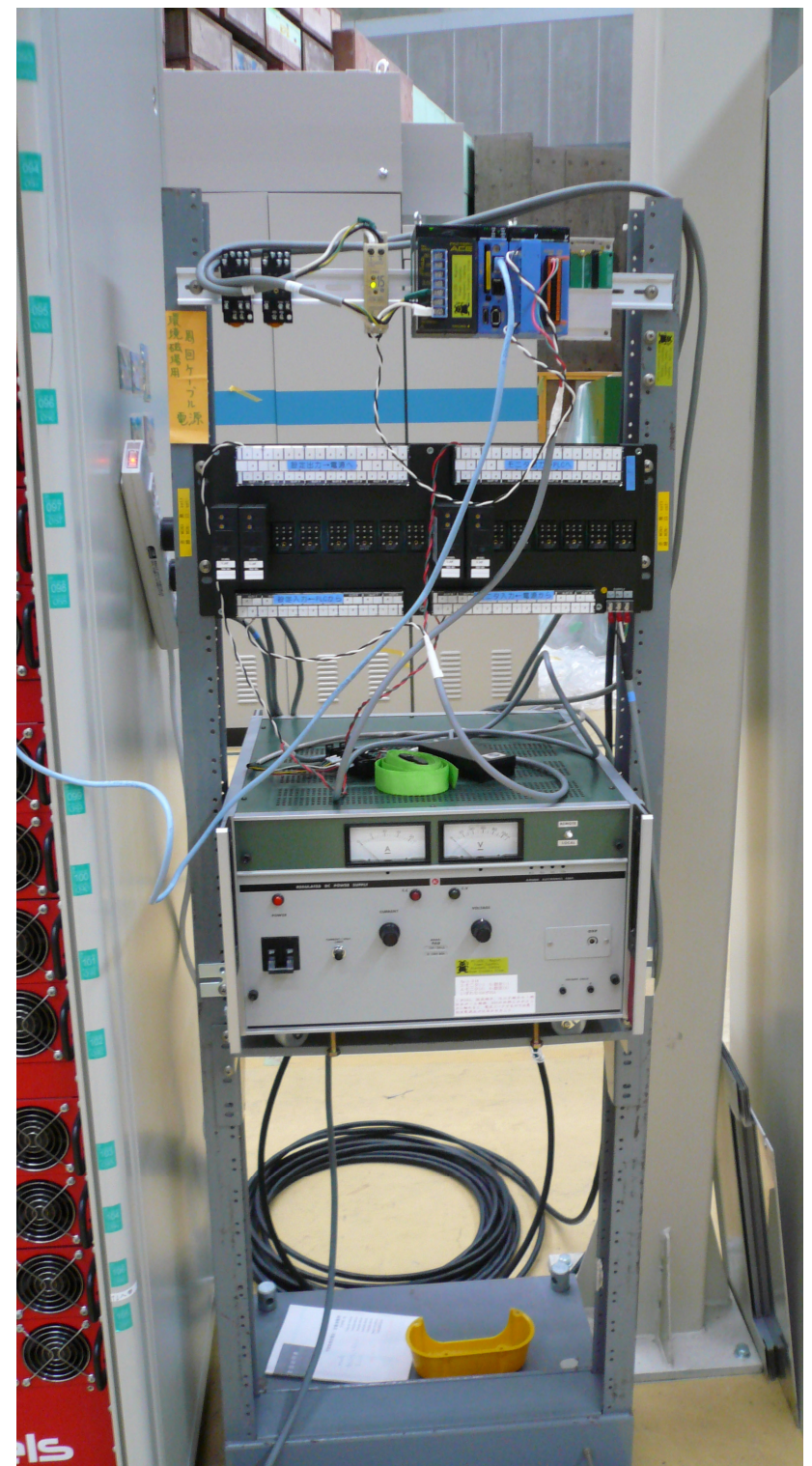
環境磁場変化対策用周回ケーブル

- 目的：環境磁場の变化（例えば KEKB 電源初期化）を打ち消す
- シールド内で cERL 加速器全体を1周、ケーブルで囲む。
- 3 芯ケーブルを直列につなぎ、3 巻きとした。シールド内外の貫通ケーブルは既設の予備ケーブルを使った。

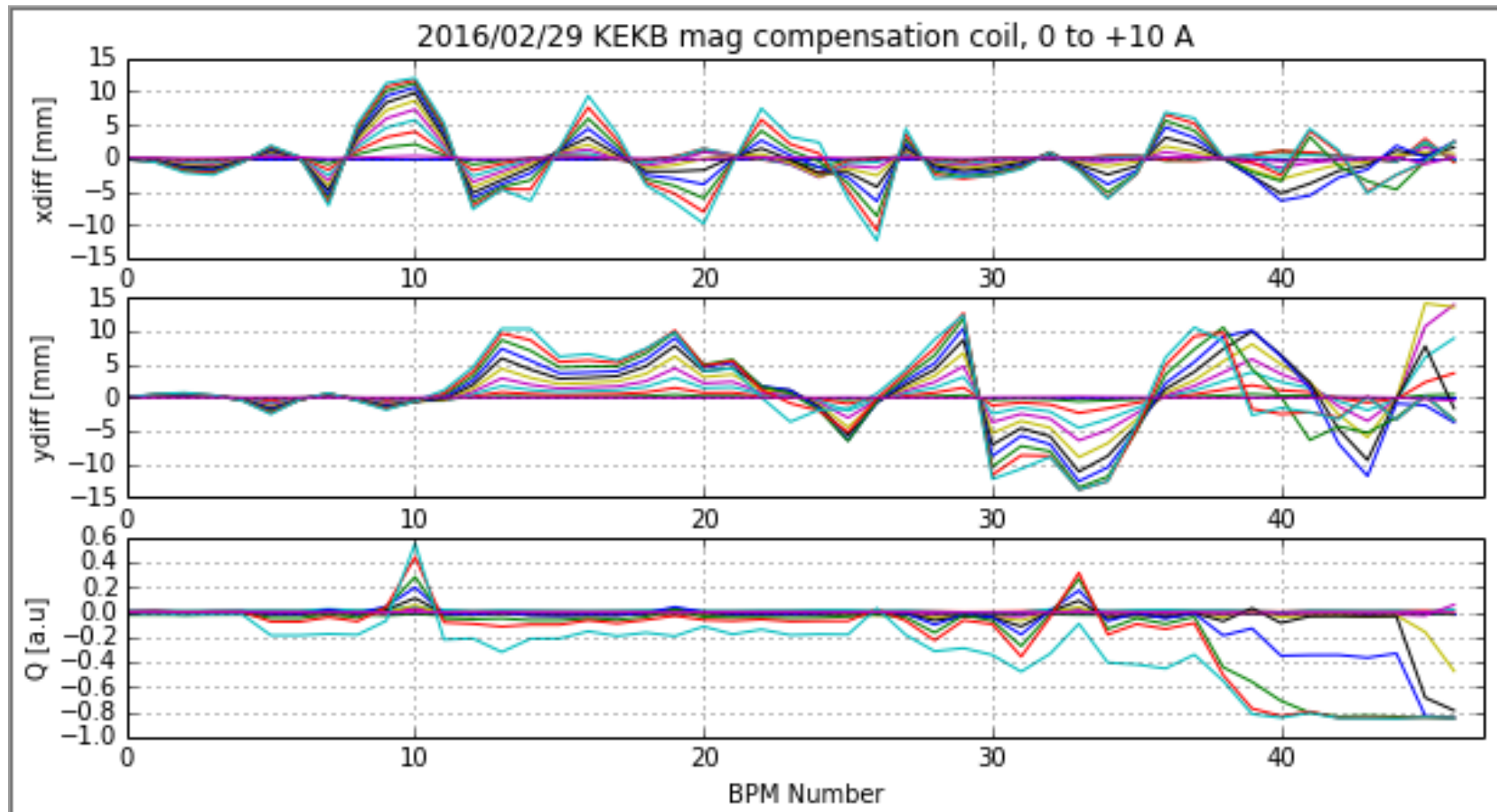


電源と制御系

- 電源は PF の 8 極電源の予備品を流用。
(菊水 20A/110V)
- 制御系は横河アイソレータ+PLC
- 片極性なので極性切り替えは後ろの出力配線の
入れ替え。
- 20A で 40V くらいになる。

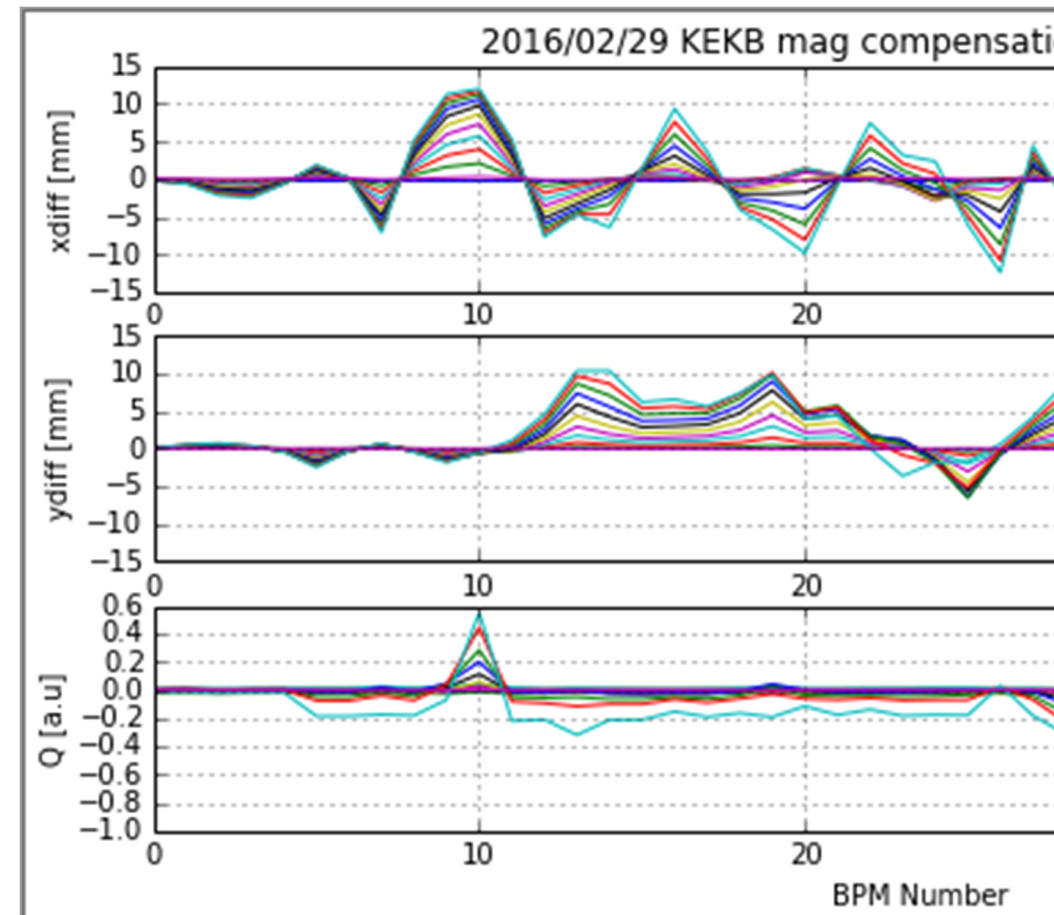
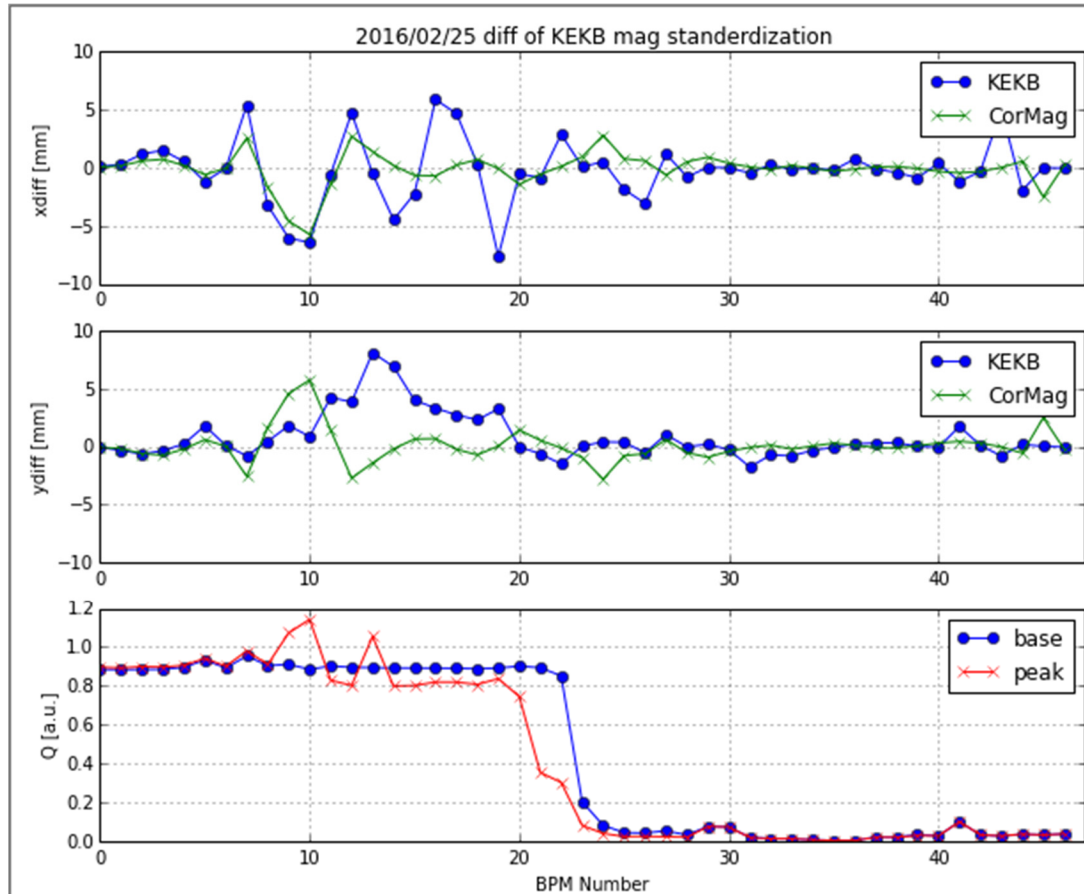


実際に軌道が振れるか？ (以下、帯名さんによる)



- 1~10A まで流したときの軌道変動。(10A で 30AT。)
- 10A 以上では周回部途中でビームロスが生じる。
- 軌道のパターンはともかく、ビームを結構蹴れることは分かった。

KEKB 電磁石初期化のパターンと一致しているか？



- 初期化で最も振れている場合、途中でビームロスしている。
- パターンが一致しているか？
 - 心眼で似ていると言えなくもないか？
 - 水平垂直でパターンが逆に見える？
- KEBB と協力したスタディが必要だが、お互いなかなか時間がない。

まとめ

- シールド内で cERL 加速器を囲むケーブルを敷設し、ビームに対する影響を調べた。
- 蹴り落とせるくらい蹴れることは分かったが、いまいち、KEKB 初期化のパターンとは完全に一致はしない様である。
- 今後、初期化をこちらから依頼して途中で止めてもらって測るという感じのスタディを KEKB に頼んでみたい……？