

J-PARC 遅い取り出しの誤動作ショット

加速器学会
2013.8.4

富澤正人、岡村勝也、中川秀利
KEK/J-PARC

加速器の遅い取り出しの現場から

- ・ 遅い取り出しシステム構成
- ・ 誤動作ショットの説明
- ・ 誤動作調査
- ・ 誤動作ショットの解釈
- ・ 対策
- ・ まとめ

共鳴6極磁石 (8台)



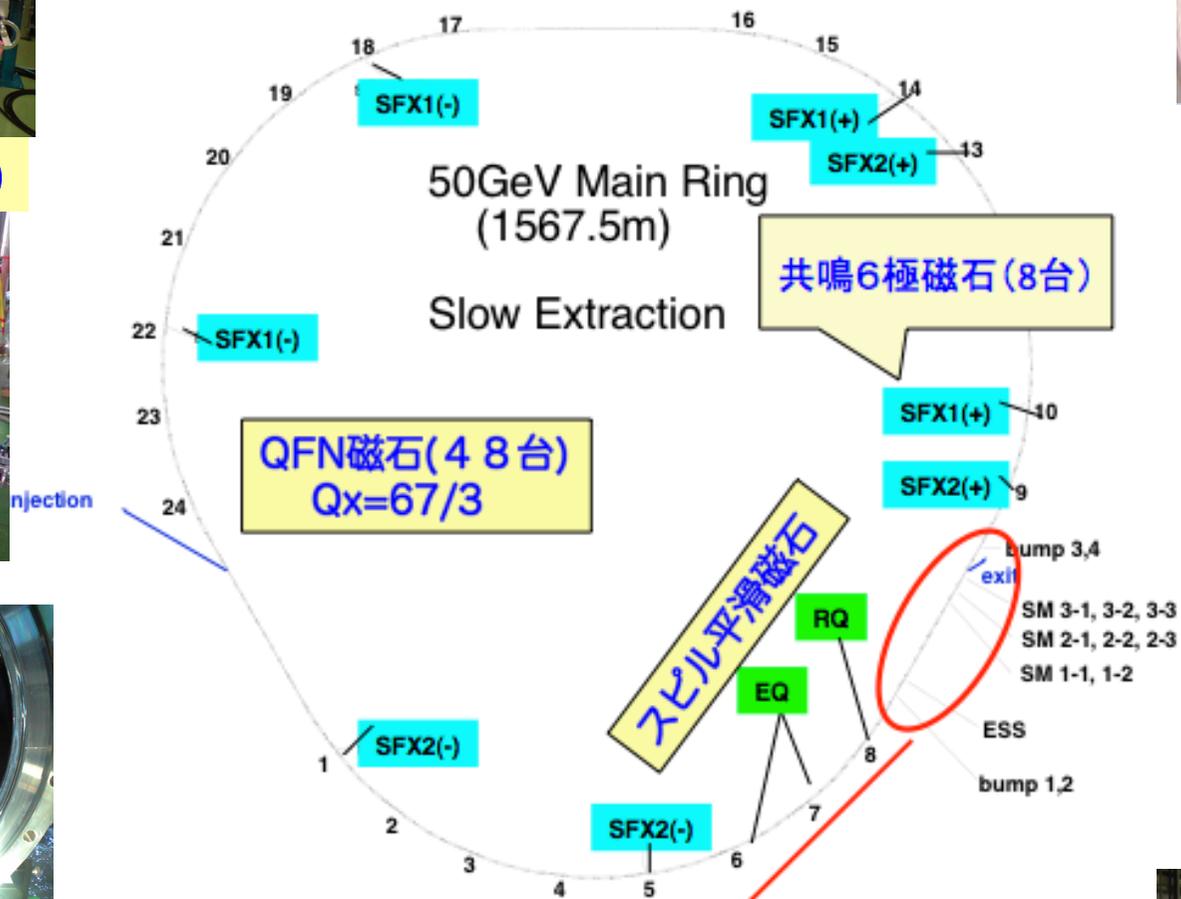
バンプ磁石(4台)



ESS1,2



取り出し装置配置



SMS11-12



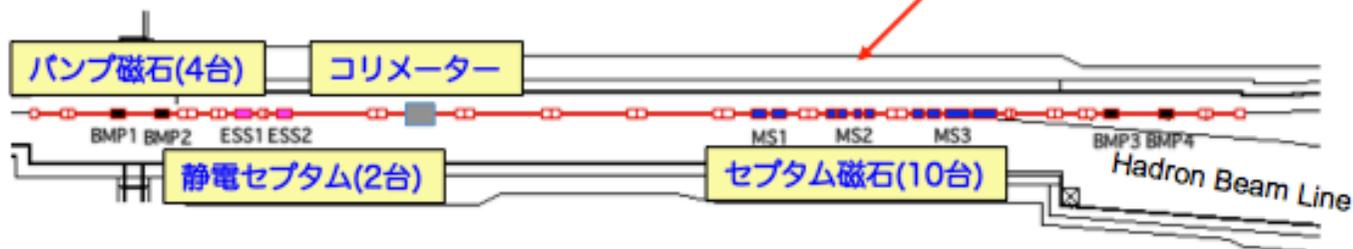
SMS21-24

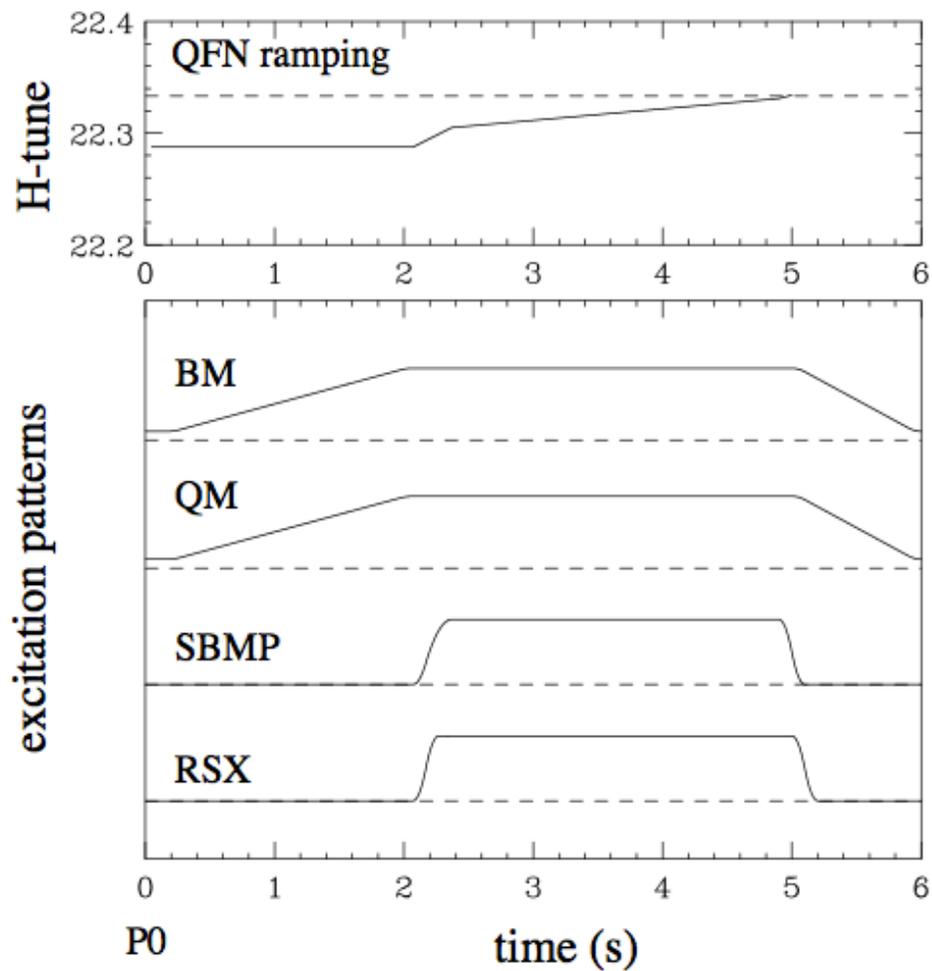
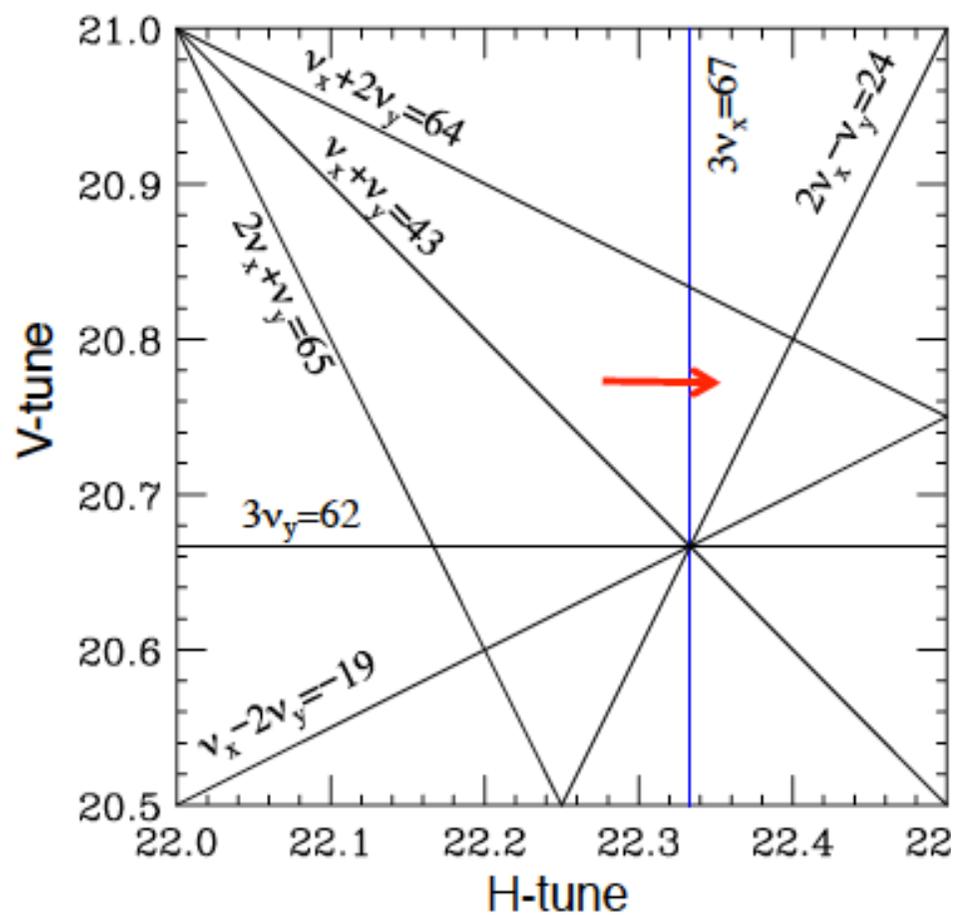


SMS31,32



SMS33,34



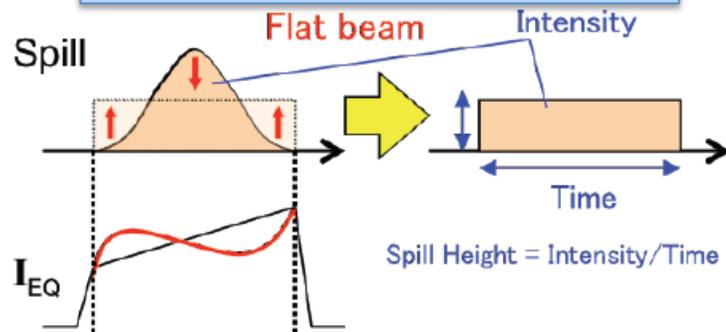


スピルフィードバック(EQ and RQ)

48-QFNs in the arcs

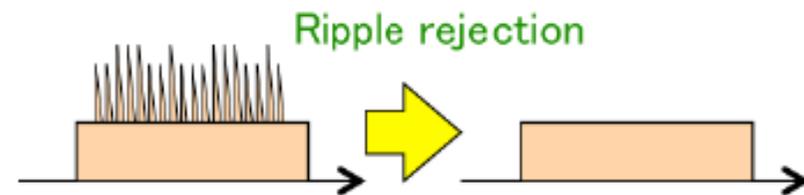
beam intensity $\propto 0.010$
 $\Delta Q_x = 0.026 @ 2.53s$

EQ (Extraction Quadrupole)

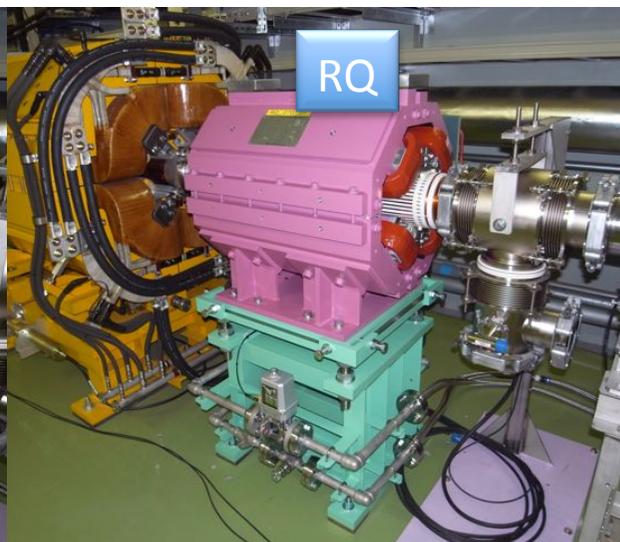


beam intensity $\propto 1.06 \times 10^{-4} \Delta I / \Delta t$
 $\Delta Q_x = 0.03611 @ 340A$

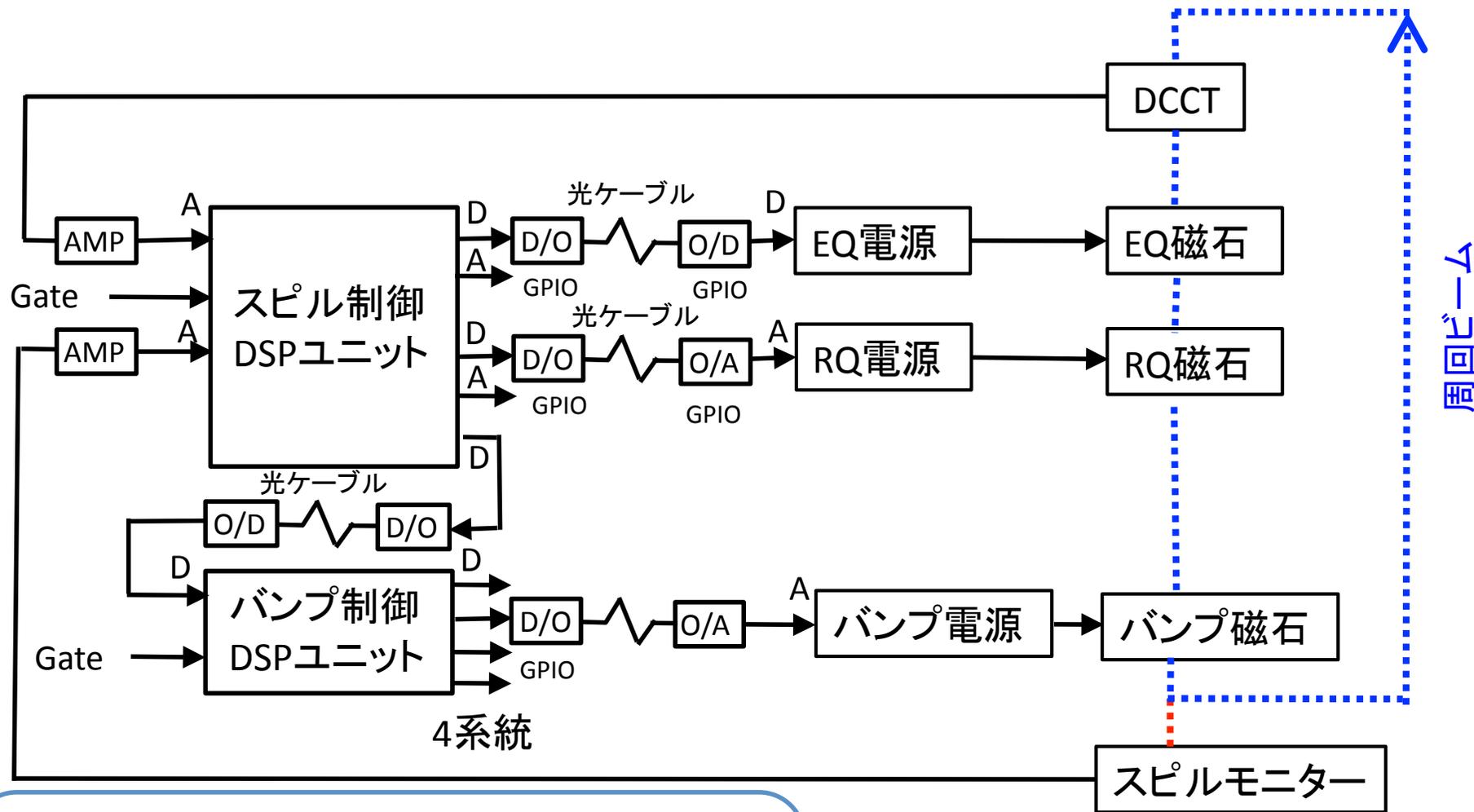
RQ (Ripple Compensation Quadrupole)



beam intensity $\propto 1.44 \times 10^{-5} \Delta I / \Delta t$
 $\Delta Q_x = \pm 0.00288 @ \pm 200A$



スピル制御、ダイナミックバンプ制御の流れ



出力モニタリング

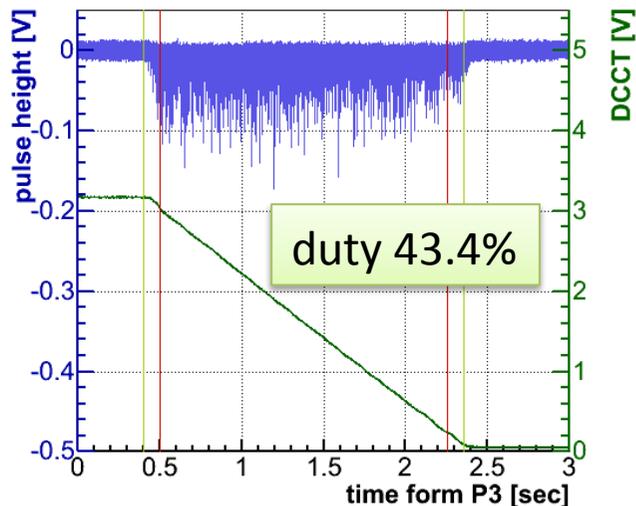
- WE7111 (2KHz) EQ・RQ 電流、スピル
- WE7118 (100KHz) DSP EQ・RQ指令(アナログ)
EQ・RQ 電流、スピル

取り出しビーム
ターゲット

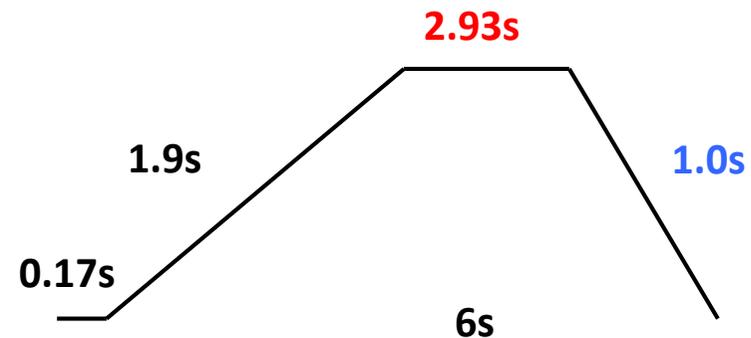
MR 30GeV遅い取り出し運転条件

	RUN49
	(2013年/5月)
バンチ数/バッチ数	8/4
ビームパワー	24kW
粒子数(ppp)	30 x10 ¹²
RF F.F.	あり
beam feedback	H,V
Chromaticity	adjusted
Tune	adjusted
Transverse RF	あり
spill duty	43%
取り出し効率	99.5%

spill (shot::298770)

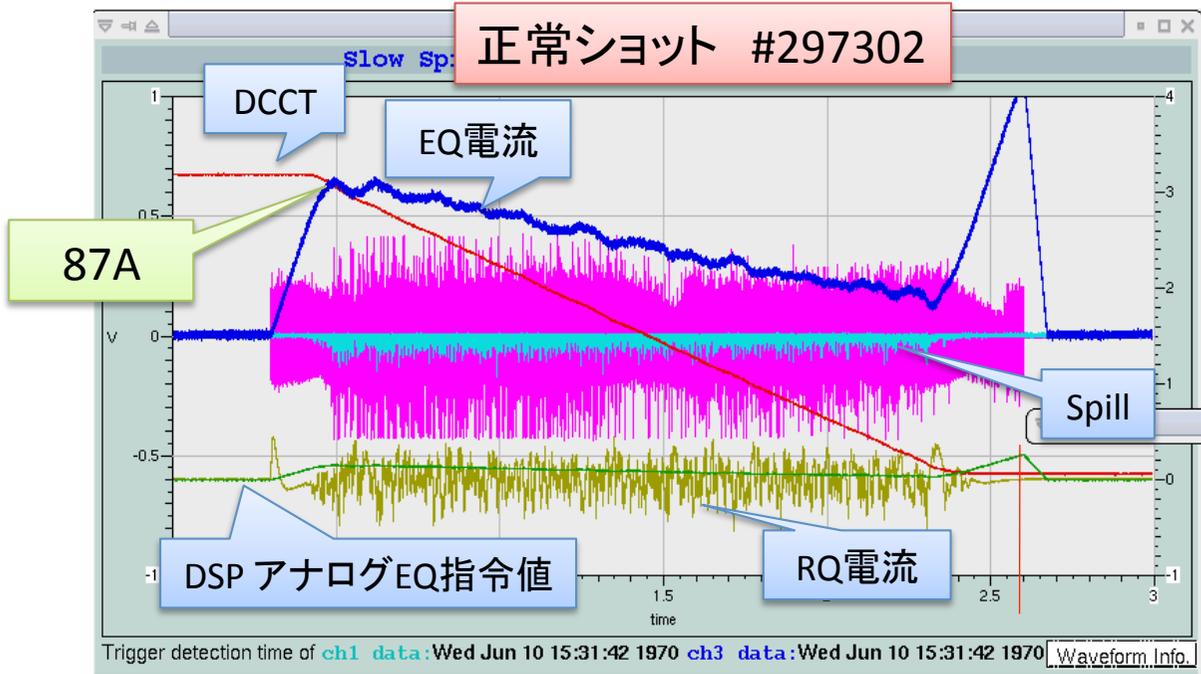


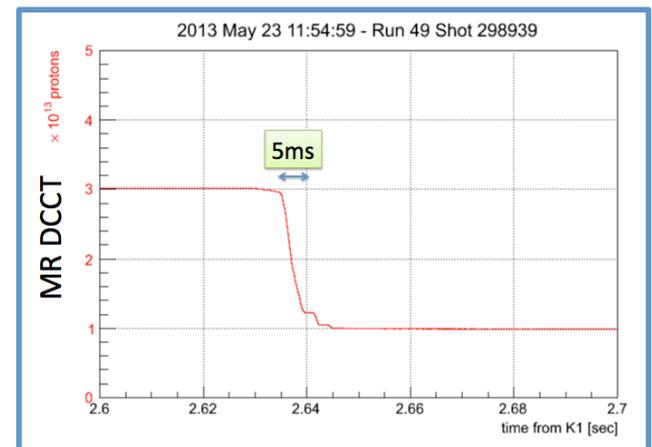
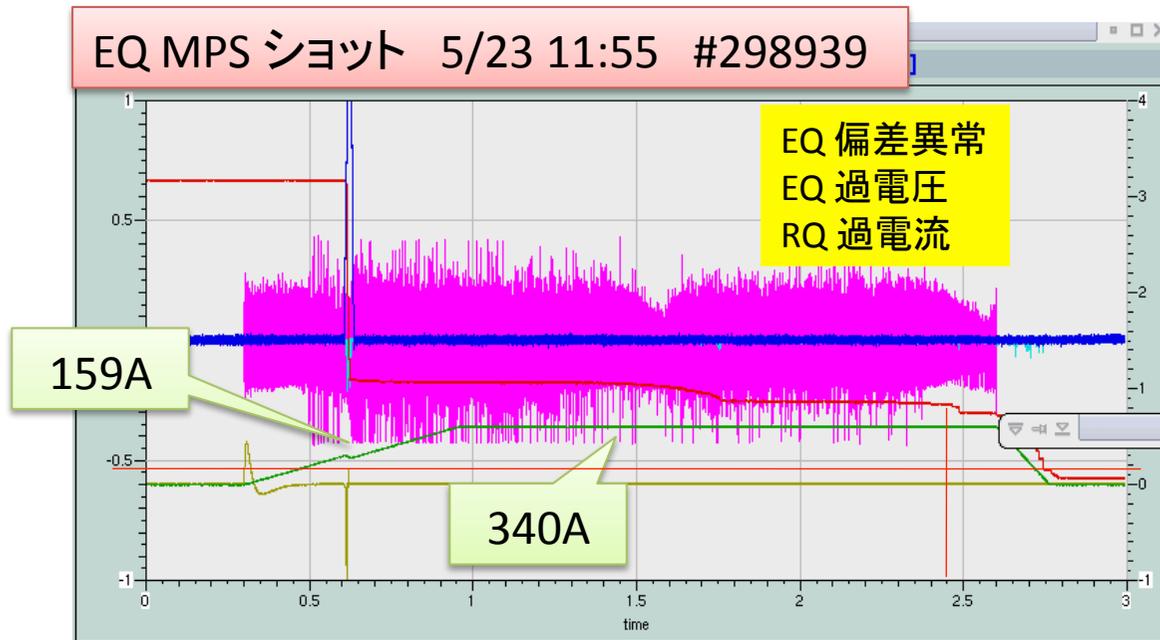
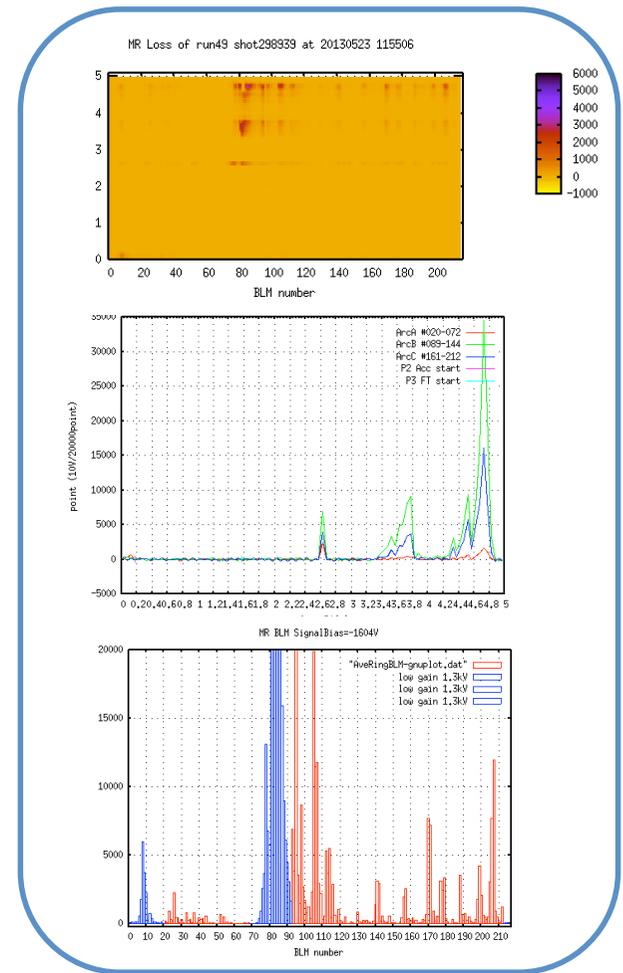
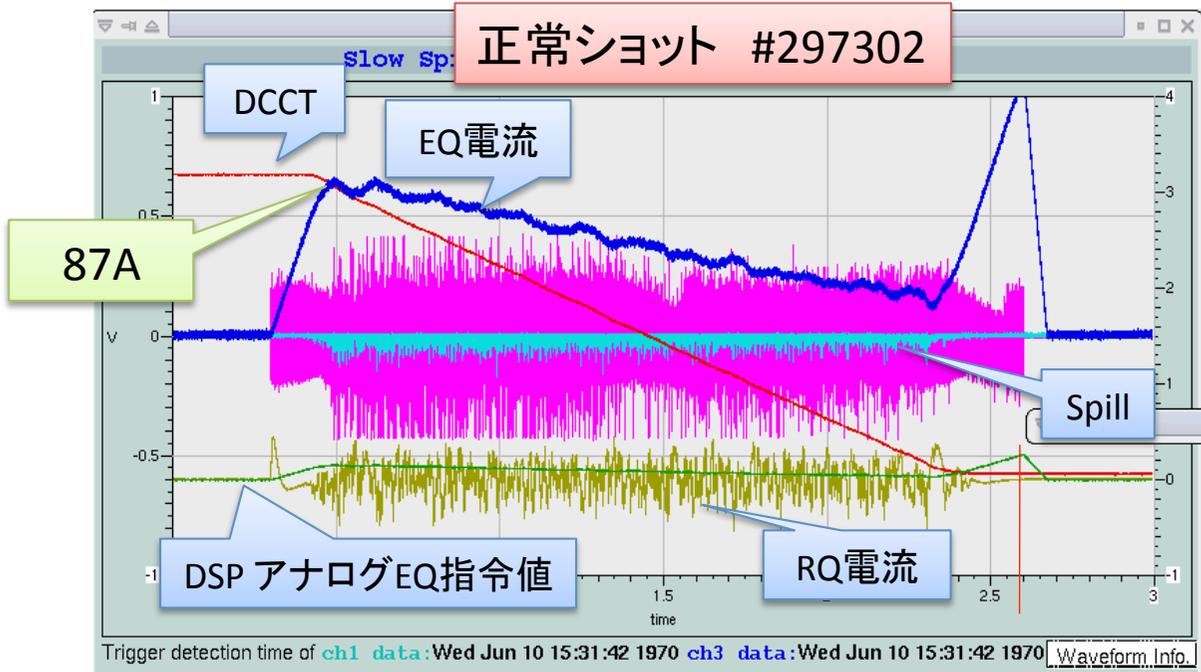
遅い取り出し運転パターン (RUN43-49)

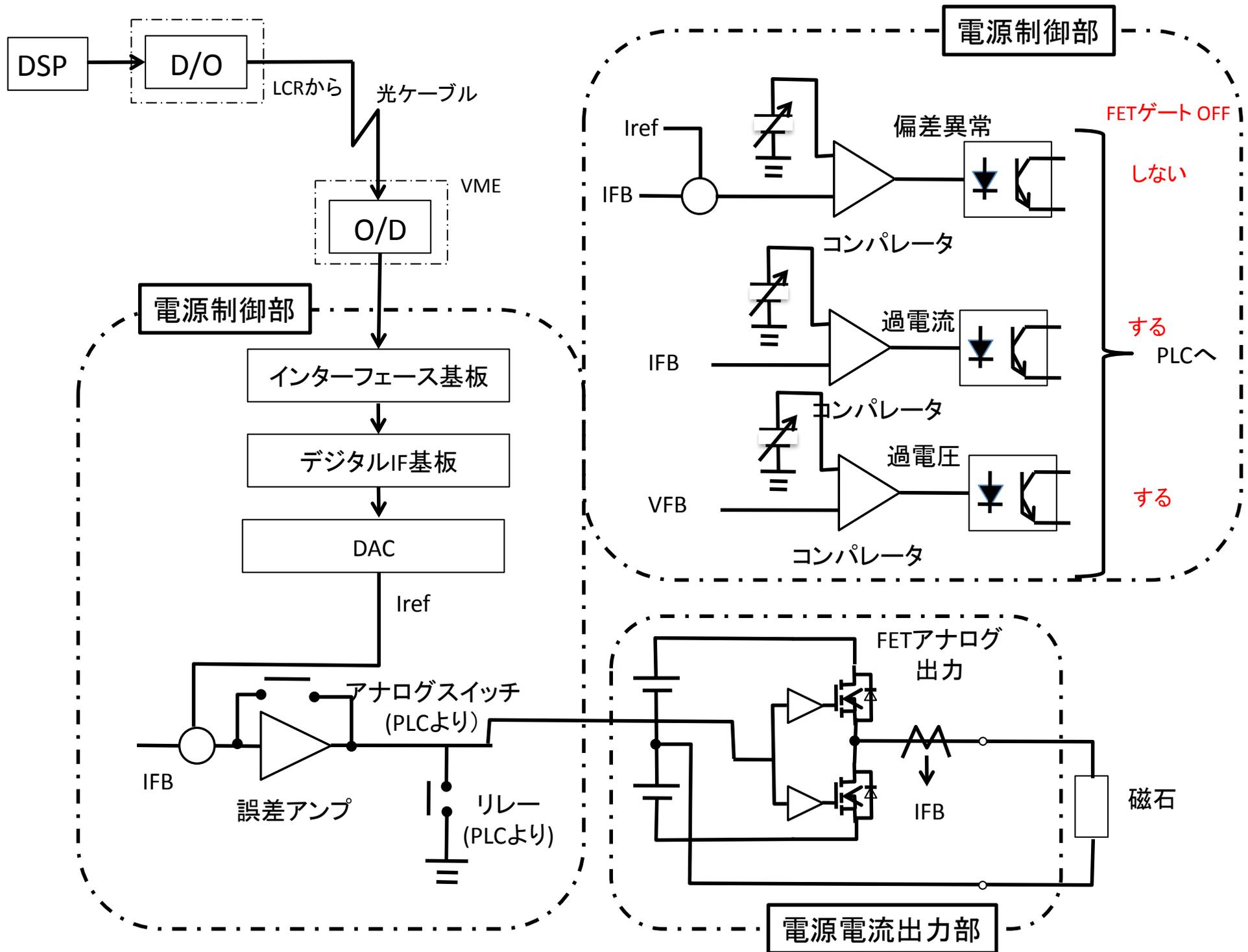


EQ MPS 発報からターゲット損傷判断までの経緯 (法令第2報から)

1. EQ MPS 発報ショット (11:55)
2. 電源のリセット(電源担当者)、運転再開 (MRシフト当番) (12:08)
3. 遅い取り出しシステム担当者
 - ◎運転記録で実験室の放射線レベル上昇のため調査という文言を見つけた (15:00頃)
 - ◎ハドロンシフトに状況の問い合わせ (15:42頃)
 - ・EQ MPS直後よりターゲット2次粒子の収量が減った
 - ・ターゲティング調整により収量は回復した(ターゲットへの軌道がずれたと判断)
 - ・その頃より放射線レベルが上昇
 - ◎EQ MPS後の運転の取り出し効率、セプタム等の値の確認の結果正常時と変化なし
 - >取り出し(軌道)は問題なしと判断
 - >ターゲティング調整が必要だった理由への疑念が生じた
 - ◎EQ MPS 誤動作ショットの解析(スクリーンショット、DCCTアーカイブ)
 - ・EQが誤動作していることが判明、約5msでDCCTの値が1/3まで急落
 - >DCCTの急落分のビームが仮にターゲットに到達したら
ターゲット損傷があり得るのではないかという懸念が生じた
 - >放射線レベルの上昇はターゲティングにより軌道がずれたことによるロスだと推測
 - ◎ハドロン放射線発生装置責任者にターゲット損傷の懸念を伝え(17:18頃)資料を送付
4. ハドロン放射線発生装置責任者 他
 - ・送付された資料 (DCCTの約5msで2/3が急落)
 - ・モニターデータ解析によりターゲットまで全ビーム量の2/3が到達していることが判明
 - >ターゲットが損傷している可能性が高いと判断 (19:30頃)







EQ電源系誤動作調査(主なもの)

今回のEQ誤動作(偏差異常)は過去の125万ショットでも初めて

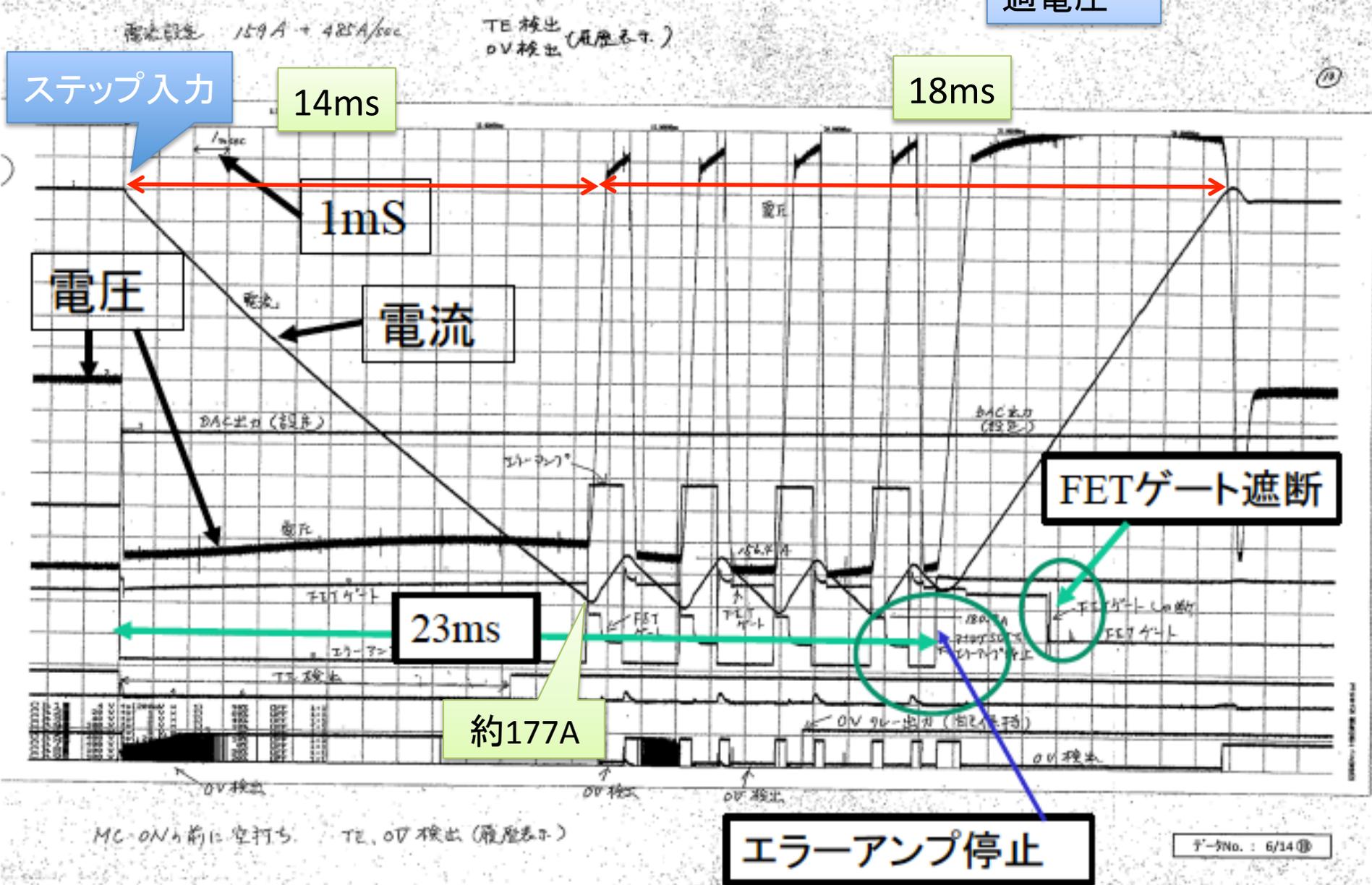
- ◎フラットケーブルコネクタ ゆるみ、機械的・熱衝撃 -> 問題なし
- ◎基板の導通チェック、目視 -> 問題なし
- ◎制御プログラムのチェック(PLC、、、)
- ◎模擬応答試験
 - ステップ電流指令、ストローブ異常、エラービット
 - FETのゲート信号をOFF
 - >誤動作時と同様な振る舞いを示した
 - 電流指令制御系(DSP出力->電源内DAまでのどこか)、
 - FETのゲート制御(PLC)が疑われるが、、、

根本原因はまだ特定できていない

- ◎調査は継続中
 - 長時間通電試験中 データロガーで監視(指令系、電源)

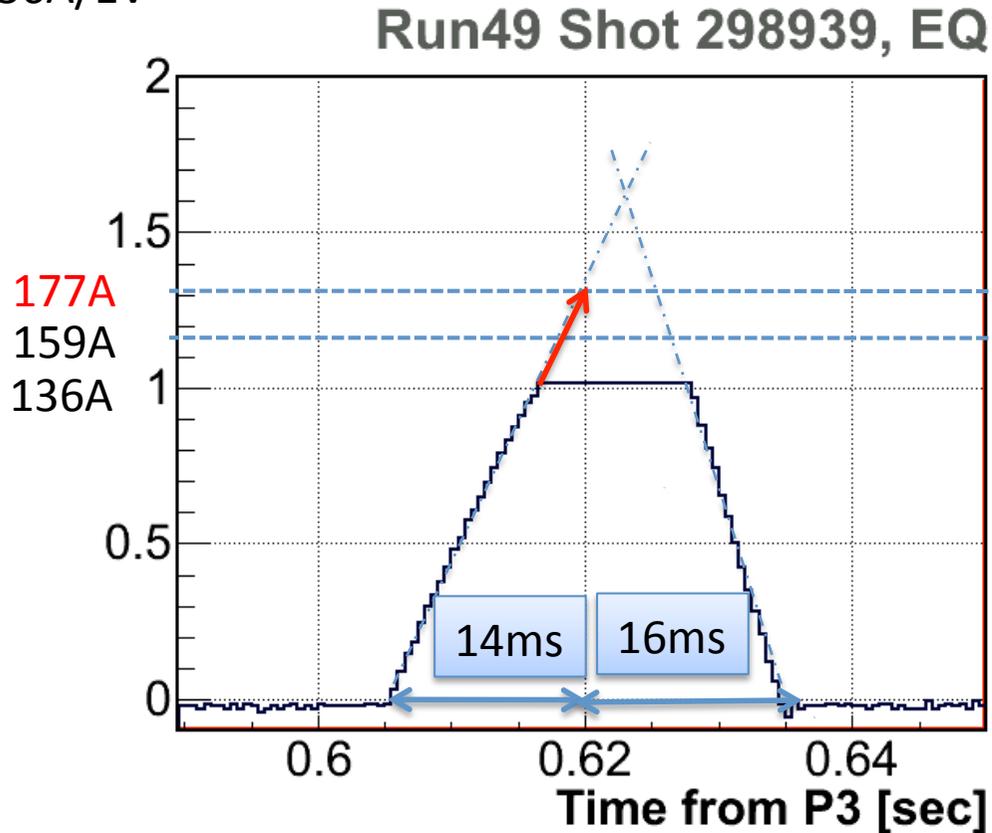
EQ電源 159A ステップ電流指令調査

偏差異常
過電圧



誤動作時のEQ電流パターン(WE7111)

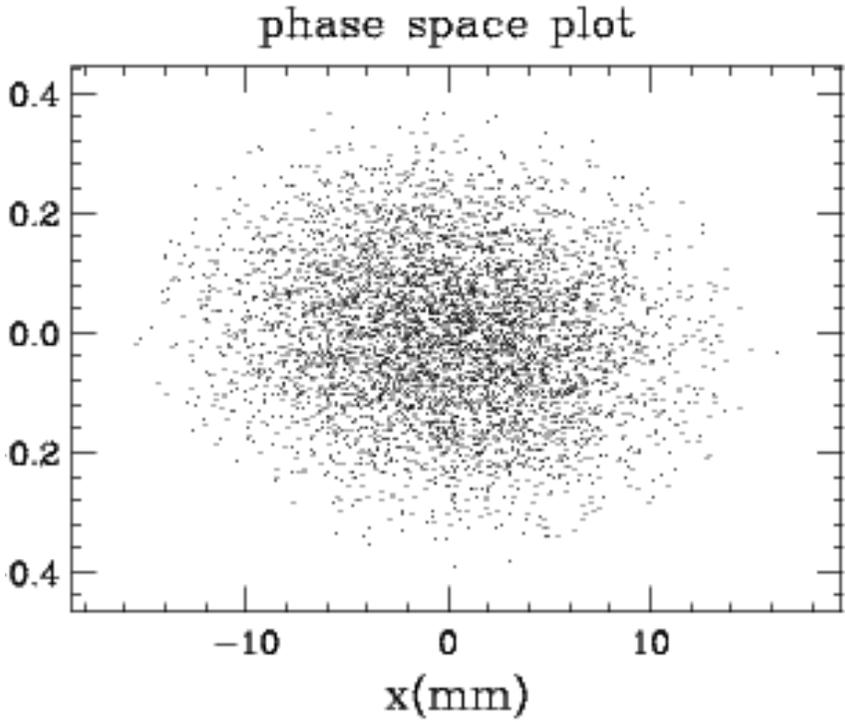
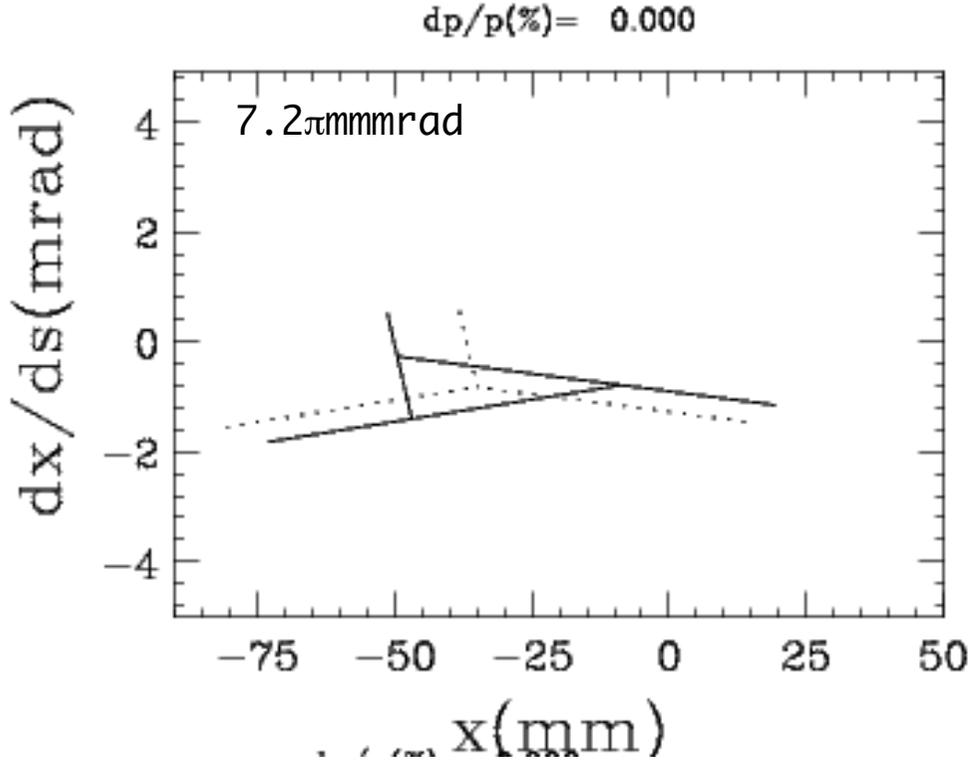
136A/1V



- ・136Aまでは達したのは確認できるが実際何Aまで流れたかはわからない(1V以上で飽和しているため)。
- ・159Aステップ応答試験の結果から、電流立ち上がりから14ms(P3+0.62秒)で電流が約177Aまで上がったと推測。

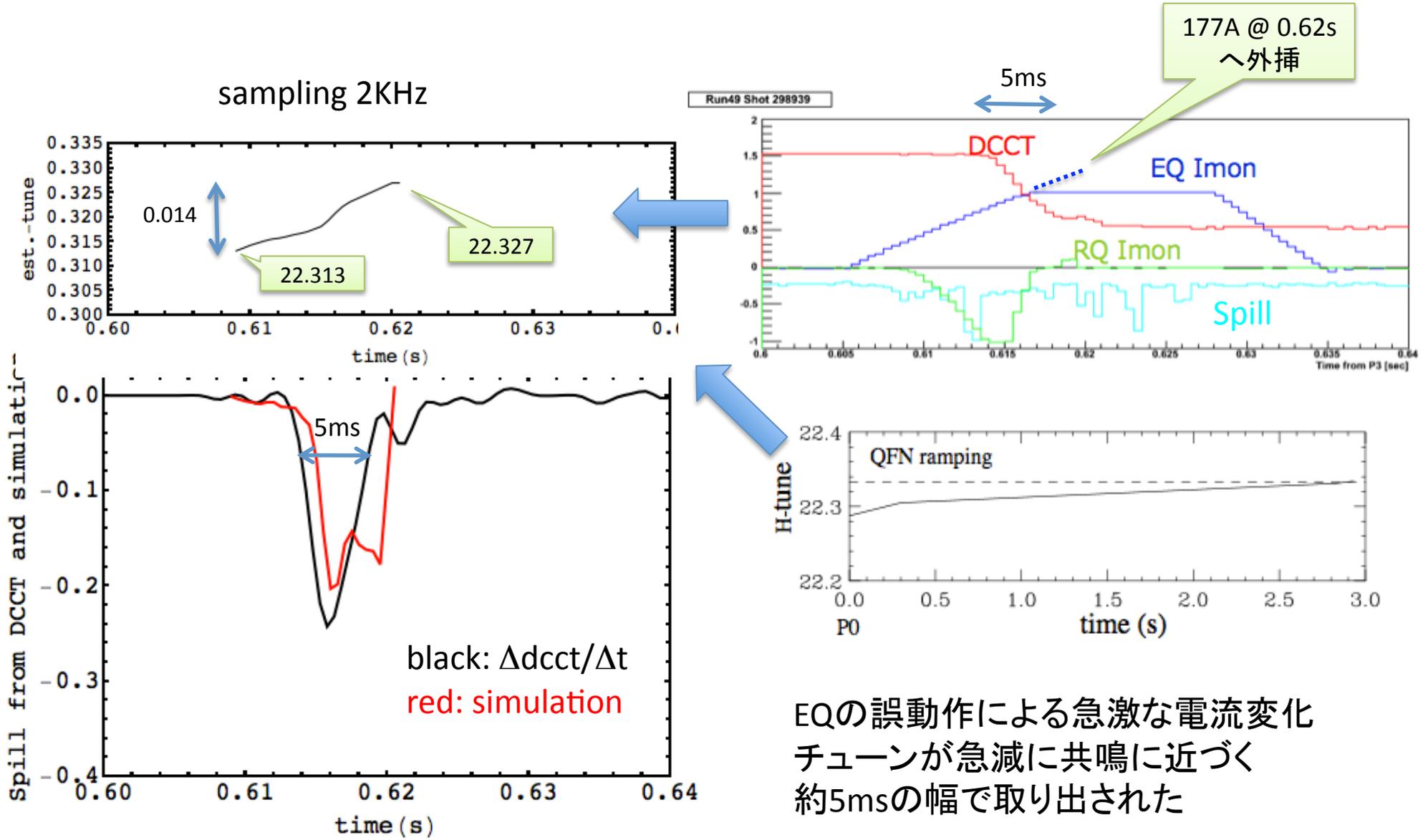
遅い取り出しの解析的シミュレーション

rms-emittance $0.75\pi\text{mmrad}$
(4D-Gauss, 3σ cut)



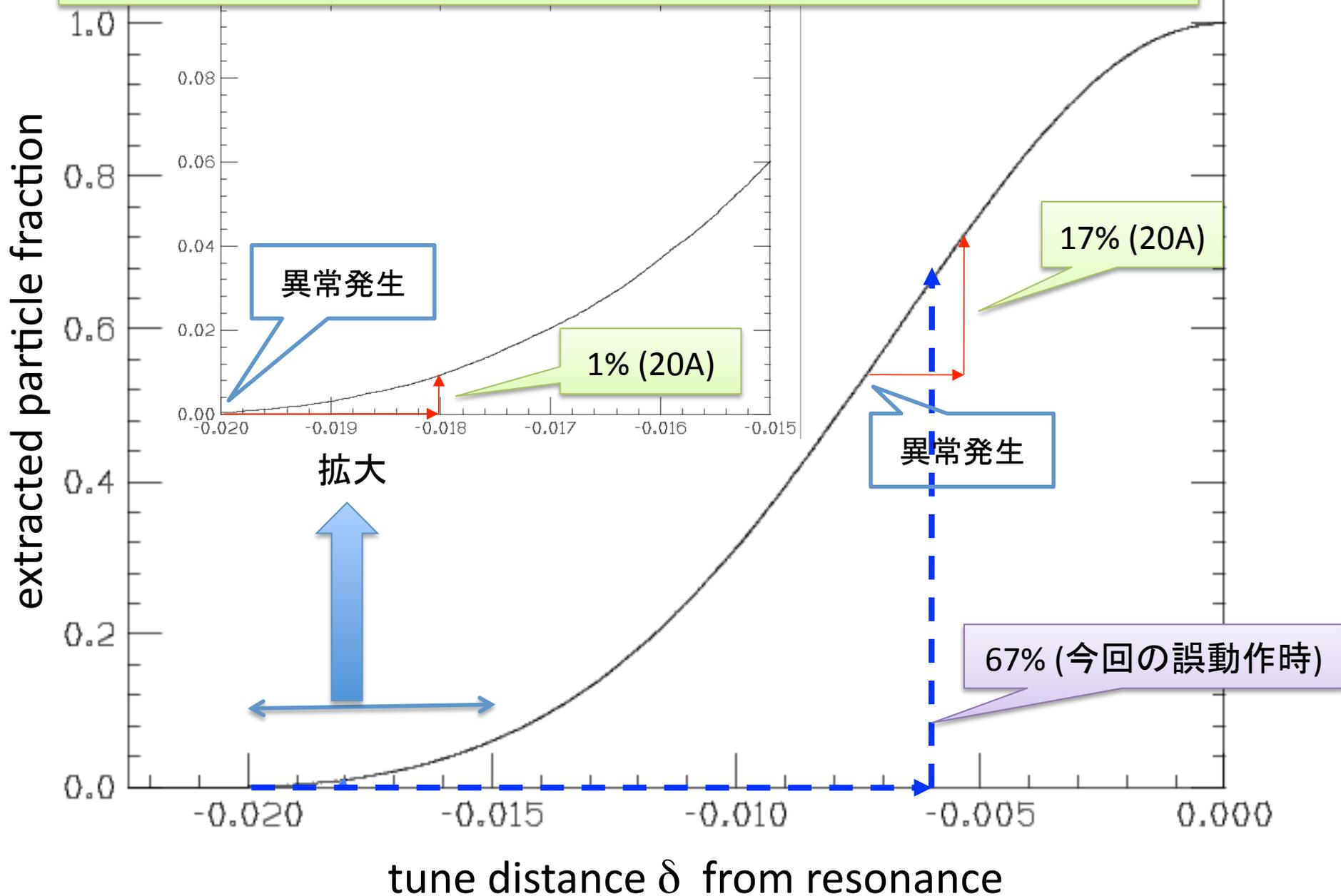
セパトリックスはチューンで決まる
セパトリックスの変化量で取り出されたビーム量がわかる

誤動作時のスピルとシュミレーションの比較



EQの誤動作による急激な電流変化
チューンが急減に共鳴に近づく
約5msの幅で取り出された

EQ MPS時、取り出し開始からのチューン変動は0.014
異常動作から1ミリ秒=20Aで電流を下げられた場合のチューン変動は0.002
-> ターゲット損傷のリスクが大幅に改善される



再発防止策

1. EQ電源系異常発生から出力電流停止までの時間短縮 (1ms以下)
PLCを介さない制御 (FPGA等)
2. EQ電源異常停止項目の追加
 - ・偏差異常 (偏差異常のしきい値340Aの5%の見直し)
 - ・電流指令デジタル信号のエラー信号、ストローク異常
 - ・外部インターロックの追加
DSPアナログ電流出力とEQ電流モニターの偏差異常を検出
3. 過電流(過電圧)設定レベルを見直す。
現在 340A (定格340A) -> 110~120A
4. Beam abort (キッカーのミスファイヤー等の問題解決が必要だが
できるだけ早期に実現させたい)
BLM, EQ電源異常、その他の危険な電源異常

再発防止策(続き)

1. スタディー中のリスク -> ターゲットからビーム回避
2. 異常判断のための情報量を増やす
 - ・ビームラインのビーム軌道
 - ・ターゲットに到達したビーム量
 - ・ターゲットで発生した2次粒子強度
 - ・ターゲット温度上昇
 - ・各種放射線モニター
3. 判断体制の見直し

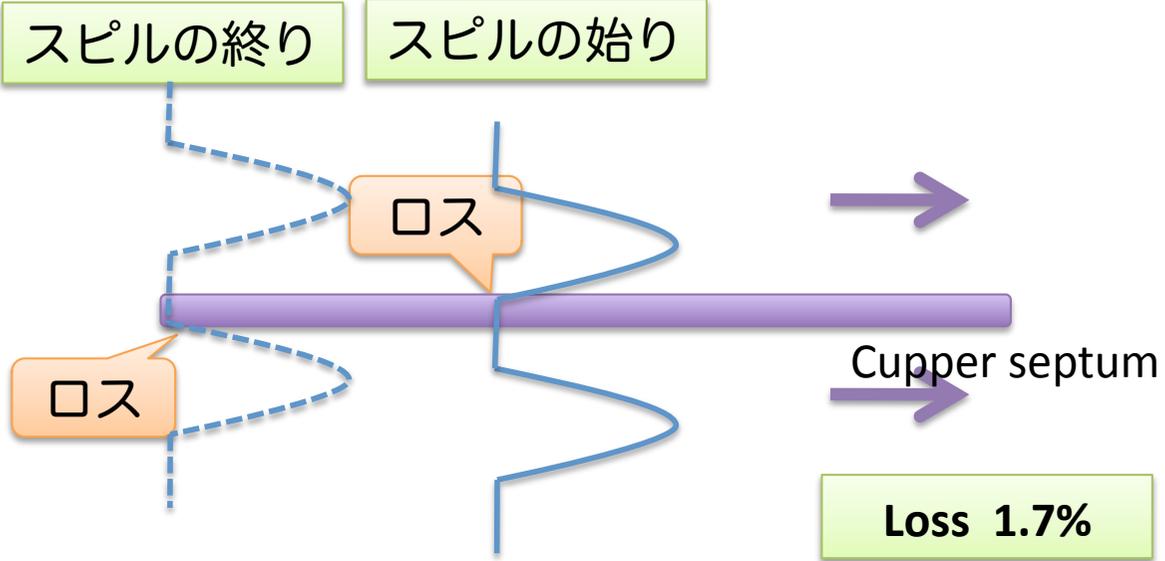
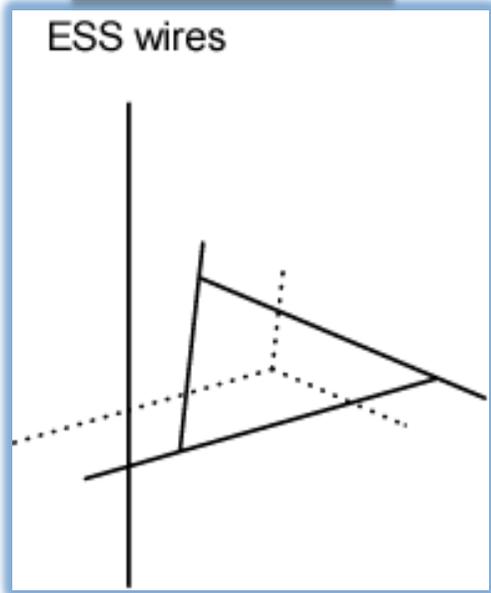
以上は現在検討中

まとめ

現状のEQ電源対策、情報量、判断体制が不十分
短時間での大強度ビーム照射によるターゲット損傷の認識が不十分
-> 安全なシステムを構築し、遅い取り出し性能向上を目指す

ダイナミックバンプスキーム

固定バンプ



ダイナミックバンプ

