

ビームロスモニター

OHO 2020/9/9

Hitomi Ikeda

- ▶ ビームロスモニターの目的
- ▶ ビームロスモニターの原理
- ▶ SuperKEKBのビームロスモニター

ビームロスモニターの目的

ビームロスモニターの目的

- ▶ 加速器の運転では、ビームの状態を常にモニターし異常が起きた場合にすぐ反応しなければならない。
- ▶ 異常とは、機器の故障やビーム不安定性によって、期待されるビーム状態と異なる状態（軌道異常・ビームサイズ増大・ビーム振動etc.）を指す。
- ▶ 異常時には、通常では見られないビームロスが起こり、期待していた運転性能を保持することが出来なくなる。ひどいときには機器にダメージを与え、長期的運転にも被害を及ぼす。



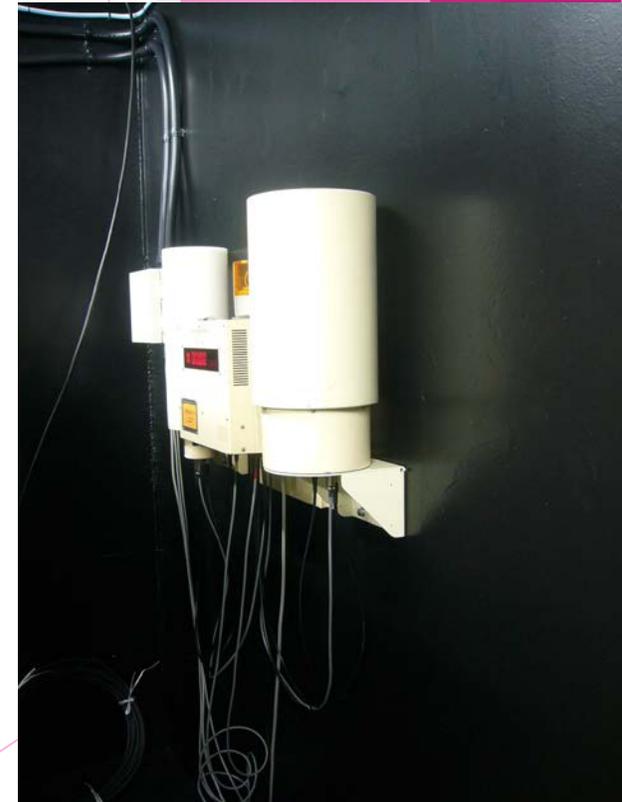
- ▶ **異常を出来るだけ早く検知して、対応する。**
 - ▶ PPS (personnel protection system) : 人間に対する被害を抑える。
 - ▶ **MPS** (machine protection system) : 加速器・検出器のハードウェアを守る。
 - ▶ **Machine tuning** : ビーム性能向上のための調整に使用する。

PPS (personnel protection system)

- ▶ 加速器運転の安全システム。
- ▶ 放射線管理センターと連携。
- ▶ 加速器トンネル内外にエリアモニターを設置して、平均的なビームロスを測定する (mSv/h) 。
- ▶ 時間スケールは秒～時間単位
- ▶ 法律で定められた閾値に対して十分安全なレベルの閾値を設定し、単位時間内にそのレベルを超えた場合はビーム入射を停止する。
- ▶ 絶対値の較正が重要。

PPS (personnel protection system) : KEKの放射線モニター

- ▶ KEKの加速器群は地下のぶ厚いコンクリート製の遮蔽体トンネル内に設置され、加速器が稼働したときに発生する種々の放射線や放射能を閉じこめる役目を果たしているが、加速器の運転状況によっては、発生する放射線の中でも透過力の大きい中性子や γ 線が、遮蔽体の外側にごくわずかに透過してくる場合がある。
- ▶ 放射線集中監視システムを導入して、放射線や放射能が問題とならない基準以下であることを常時監視し、安全に万全を期している。
 - ▶ KEKでは、国の法律で定められた値よりも低い基準（法令値の1/2~1/10）で管理。
- ▶ 放射線管理区域（放射線のレベルが有り、出入管理を必要とする区域）と一般区域の境界にモニターを設置し、閾値を超えるとビーム入射を停止する。
- ▶ センサー
 - ▶ 中性子測定用6.5cm厚ポリエチレン減速材付きHe-3比例計数管（左）
 - ▶ 光子測定用10リットル空気電離箱（右）



MPS (machine protection system)

- ▶ ハドロン加速器や大電流加速器では、ビームの不安定性やハードウェアトラブルが起こった際に、加速器・検出器のハードウェアに損傷を及ぼす前に**ビームを捨てる（アボート）システム**を備えている。
- ▶ リング全周、特にロスが検知しやすい場所にロスモニターを設置して、問題が起きた場合すぐにトリガーを出すようにしている。
- ▶ 時間スケールは数ターン ($\mu\text{s}\sim\text{ms}$) .

Machine tuning

- ▶ ビームを捨てるほどの異常でない場合でも、運転性能を上げる（ルミノシティ向上）のために、ロスモニター値をモニターしながら、運転パラメータを変える。
 - ▶ 入射パラメータ
 - ▶ 衝突パラメータ
 - ▶ コリメータ調整

ビームロスモニターの原理

ビームロスモニターでは何を測定するのか？

- ▶ ロスしたビームは、真空チェンバーの壁や電磁石などを通り抜ける際にシャワーを起こす。
- ▶ これらの粒子（放射線）を測定するためのセンサーを真空チェンバーの外に設置する。⇒ロスモニター
- ▶ シャワーによって出てきた粒子数は、ロスしたビームに比例しているはず。
- ▶ 絶対値は、センサーの位置や大きさに依存するため、ロスモニターの信号から、ロスしたビームの絶対値を正確に出すことは難しいが、シミュレーションや各種校正から必要な値を出すことは出来る。
- ▶ 定常運転時にも一定のビームロスは起きているので、ロスモニターの値を常にモニターすることで、定性的な運転状態の監視も行う。

ビームロスモニターの種類

- ▶ シンチレーションカウンター
- ▶ 半導体検出器
 - ▶ ダイヤモンドセンサー
 - ▶ PIN PD
- ▶ イオンチェンバー
- ▶ 光ファイバー

シンチレーションカウンター

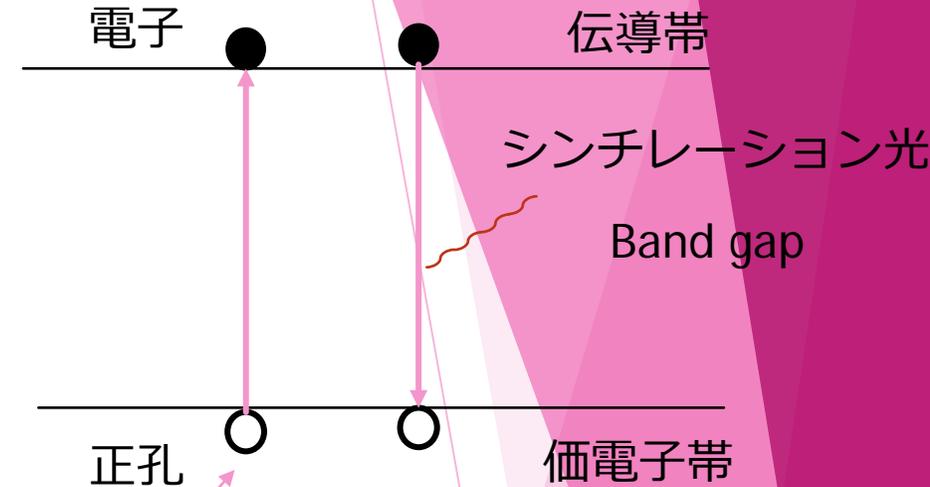
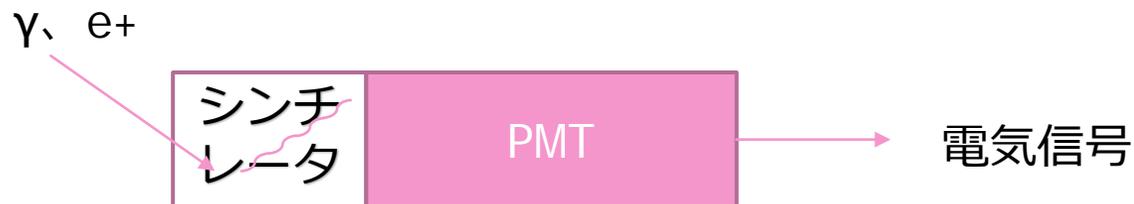
▶ 物質 :

- ▶ NaI, NaI:Ta, CsI, ...
- ▶ YAG, YAG:Ce, ...
- ▶ Alumina Ceramic (Al₂O₃ + CrO₃ ; Demarquest)

▶ PMTで読み出し

▶ それぞれの加速器の目的に従ったセンサーを選択

- ▶ 反応時間、検出したい粒子（電子、 γ 線、中性子）、エネルギーetc.

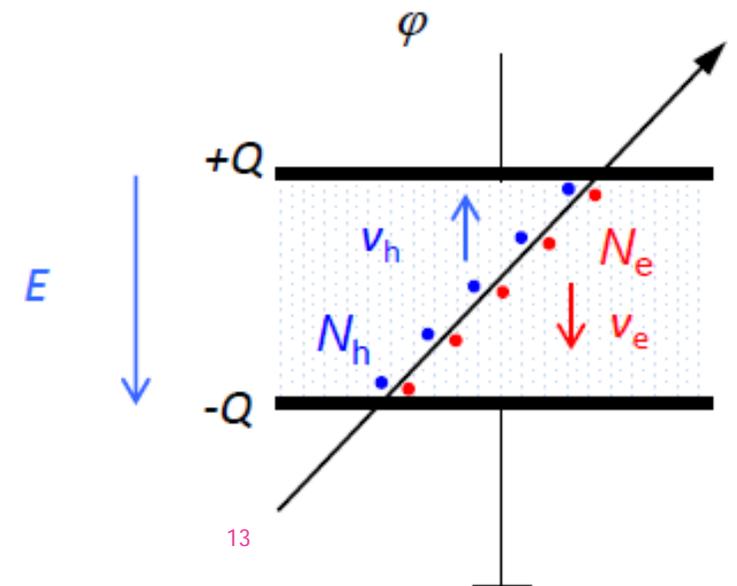


- ① 荷電粒子が物質に入射した時のエネルギーによって、価電子帯の電子が伝導帯に押し上げられ、価電子帯には正孔が出来る。
- ② 電子と正孔が自由運動した結果、再度電子が価電子帯に落ち込む。
- ③ この時、余分なエネルギーがシンチレーション光として放出される。

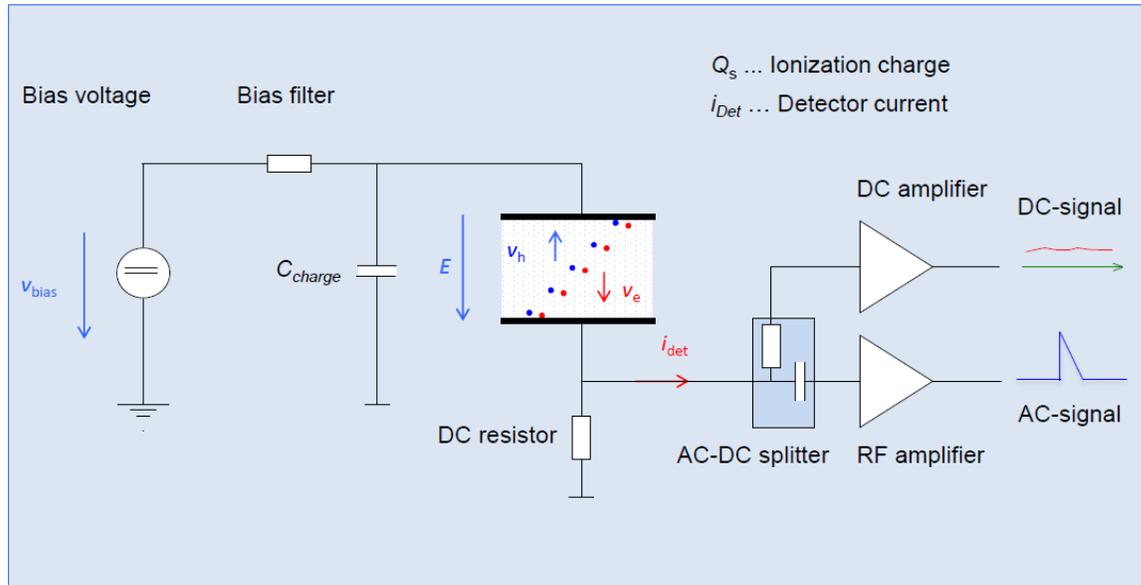
ダイヤモンドセンサー

▶ 半導体

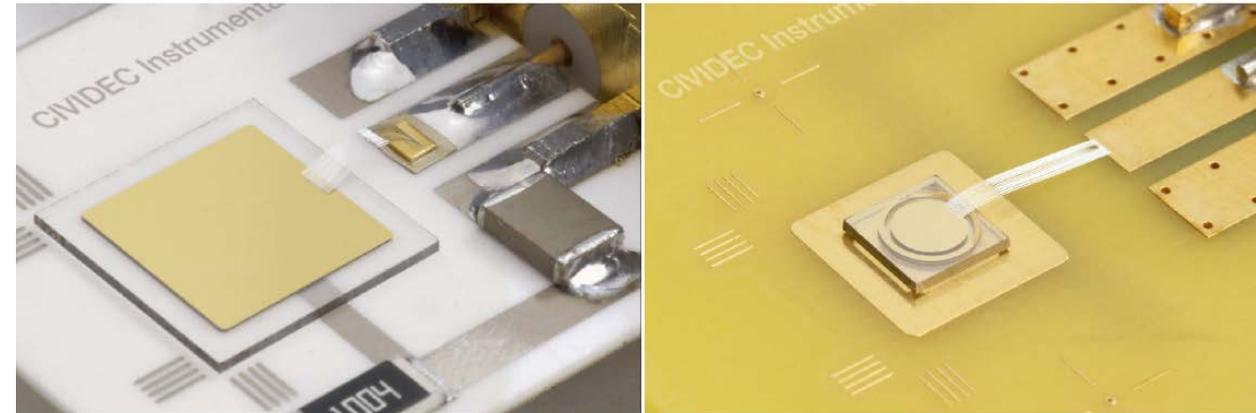
- ▶ 普通の状態において半導体は伝導帯に伝導電子が存在しないことから電圧をかけても電流は流れないが、価電子帯のエネルギーレベルにある電子になんらかの方法でエネルギーを与えることで、その電子を伝導帯のエネルギーレベルにバンドギャップを超えて励起させることができれば、半導体材料に電圧をかけることで電流が流れる。放射線が入射すると電離作用により電子正孔対が生成され電気が通るようになる。
- ▶ UVから測定可能 (5.5 eV, 220 nm)
- ▶ 放射線耐性が強い。
- ▶ ノイズレベルが低く、暗電流も小さい。
- ▶ 測定速度 (~ns)
- ▶ 価格が高い。



DC-readout



Diamond detectors



pCVD

sCVD



Diamond Substrate:

pCVD = 10 mm x 10 mm (Chemical Vapor Deposition)
sCVD = 5 mm x 5 mm

Thickness = 500 μ m

PIN PD

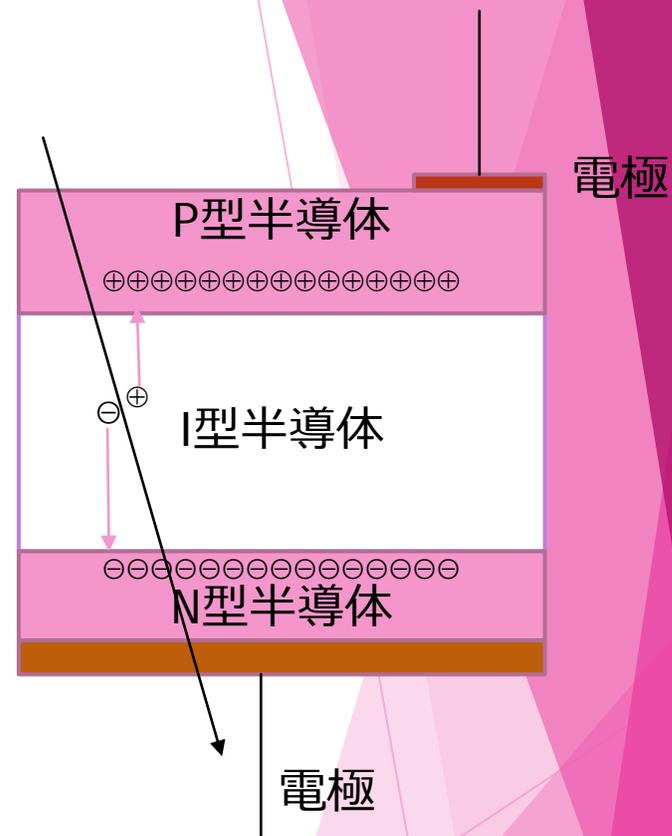
- ① P型半導体 + I型半導体 + N型半導体を接合。
- ② 粒子が入射すると絶縁性I型半導体で電子正孔ペアが出来る。
- ③ 電子はNへ、正孔はPへ移動して電流が流れる。

材質

シリコン、ゲルマニウム

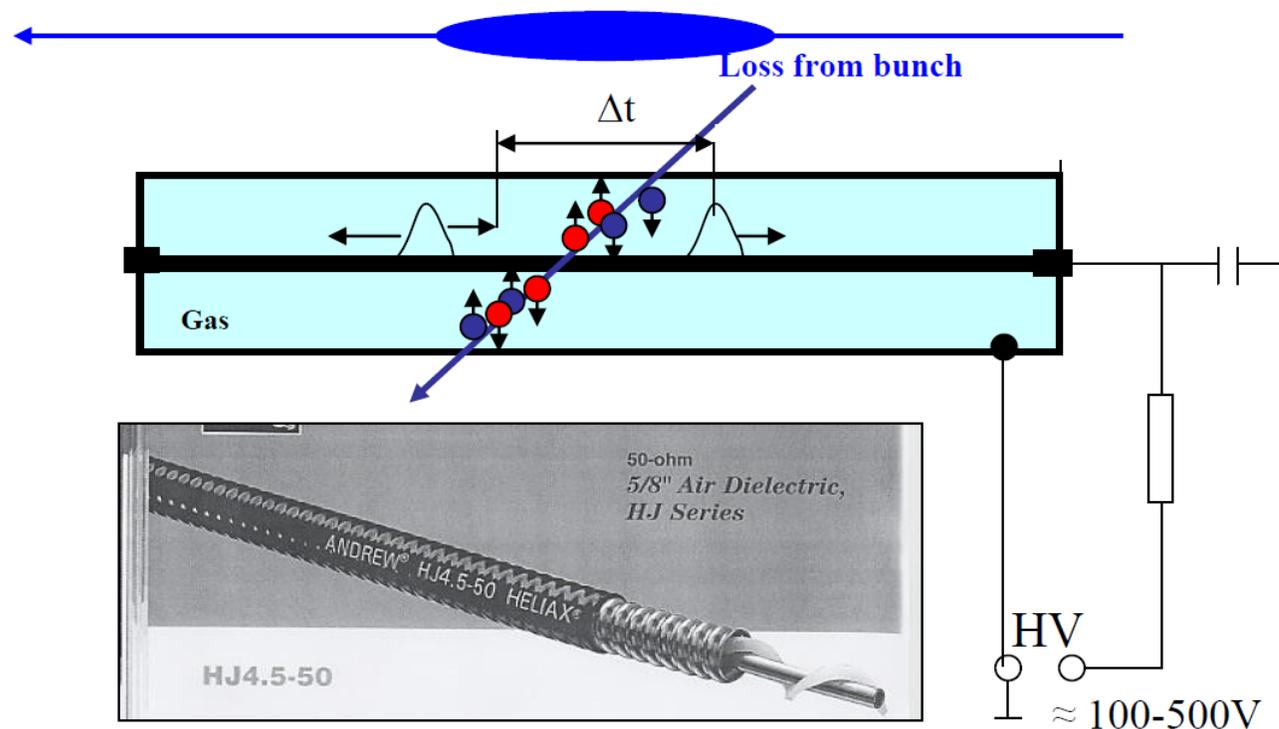
特性

検出に使用する光の波長（バンドギャップ < 光の波長のエネルギー）、量子効率、暗電流（光の入射が無い時にフォトダイオードを流れる電流）が異なるため、必要に応じて選択する。



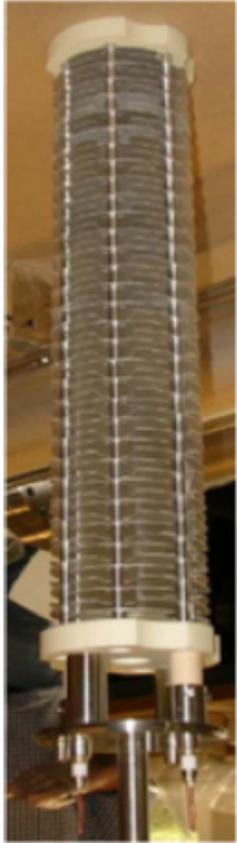
イオンチェンバー

- ▶ チェンバーの長さにより、広い範囲のロス検出が可能。
- ▶ 中に封入するガスによって、検出できる粒子のエネルギーや検出速度が異なる。
 - ▶ N, Ar, Xe, 空気



CAS2008 "Beam Loss Monitor" (K. Wittenburg)

- ① ガスを封入したチェンバーに電場をかける。
- ② 荷電粒子が通り抜けると、ガスを電離する。
- ③ 生成されたイオン電子ペアはそれぞれ、負電極と正電極に集められ、電気信号を発生する。



LHC	TEVATRON/RHIC/SNS
$T = 0.3 \mu\text{s}$ ($t_{\text{fall}} 200\mu\text{s}$)	$T = 10\mu\text{s} \Rightarrow 3 \mu\text{s}$ ($t_{\text{fall}} 560 \Rightarrow 72 \mu\text{s}$)
1.5 ltr N_2 at 1.1 bar	0.11 ltr Ar at 1 bar
$V = 800 - 1800 \text{ V}$	500 - 3500 V
Dynamic range $>10^8$ ($>10^{-12} - <10^{-3} \text{ A}$)	Dynamic range $>10^6$ 300 pA – 500 μA
Leak current $<1 \text{ pA}$	Leak current $10 \text{ pA} \Rightarrow <100 \text{ fA}$
S: 156 pA/(rad/h) (Cs^{137}) (560 nC/rad)	19.6 pA/(rad/h) (Cs^{137}) (70 nC/rad)
Collection efficiency: $>90 \%$	Collection efficiency: 77% -> 92 %

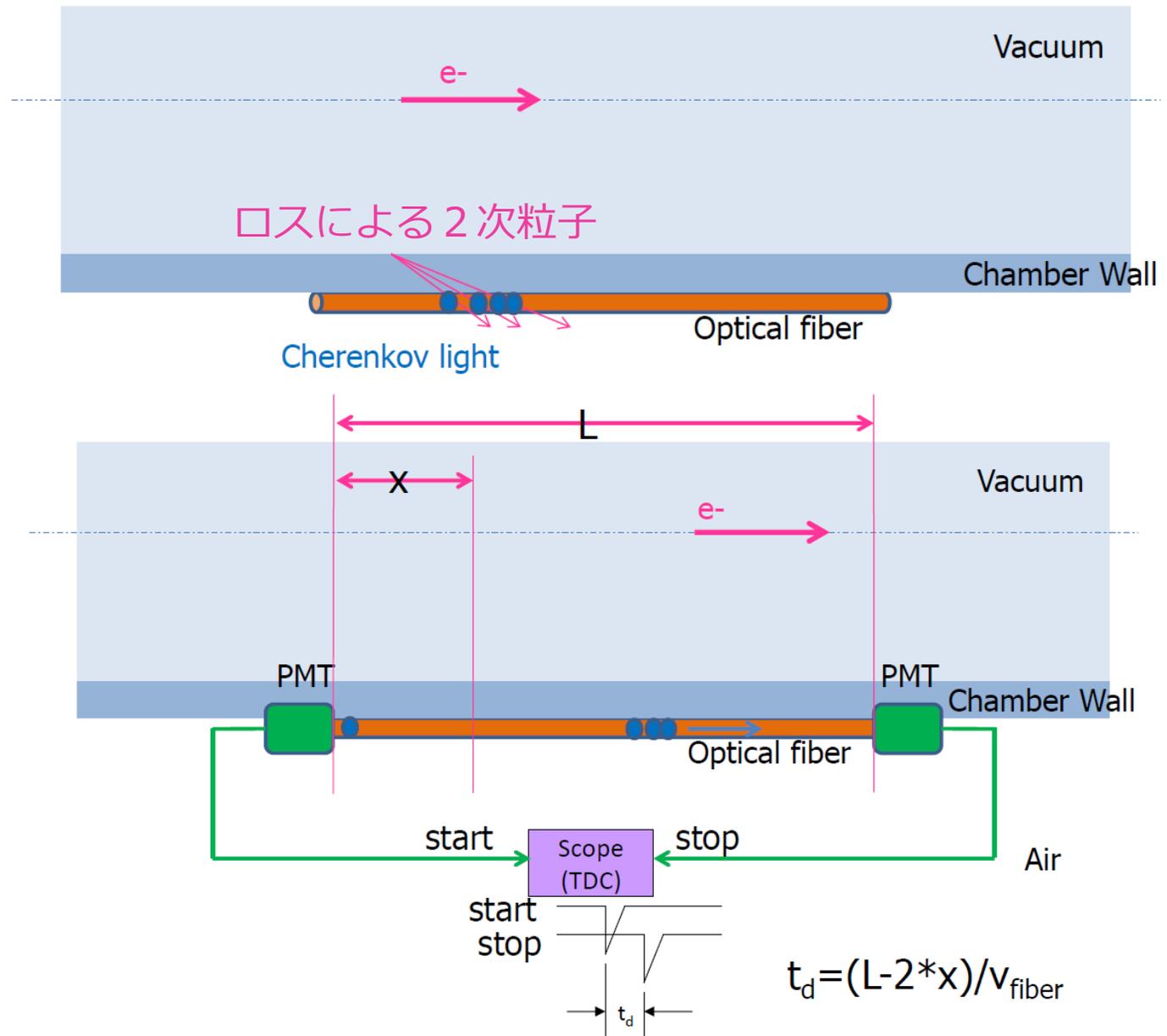


CAS2008 “Beam Loss Monitor” (K. Wittenburg)

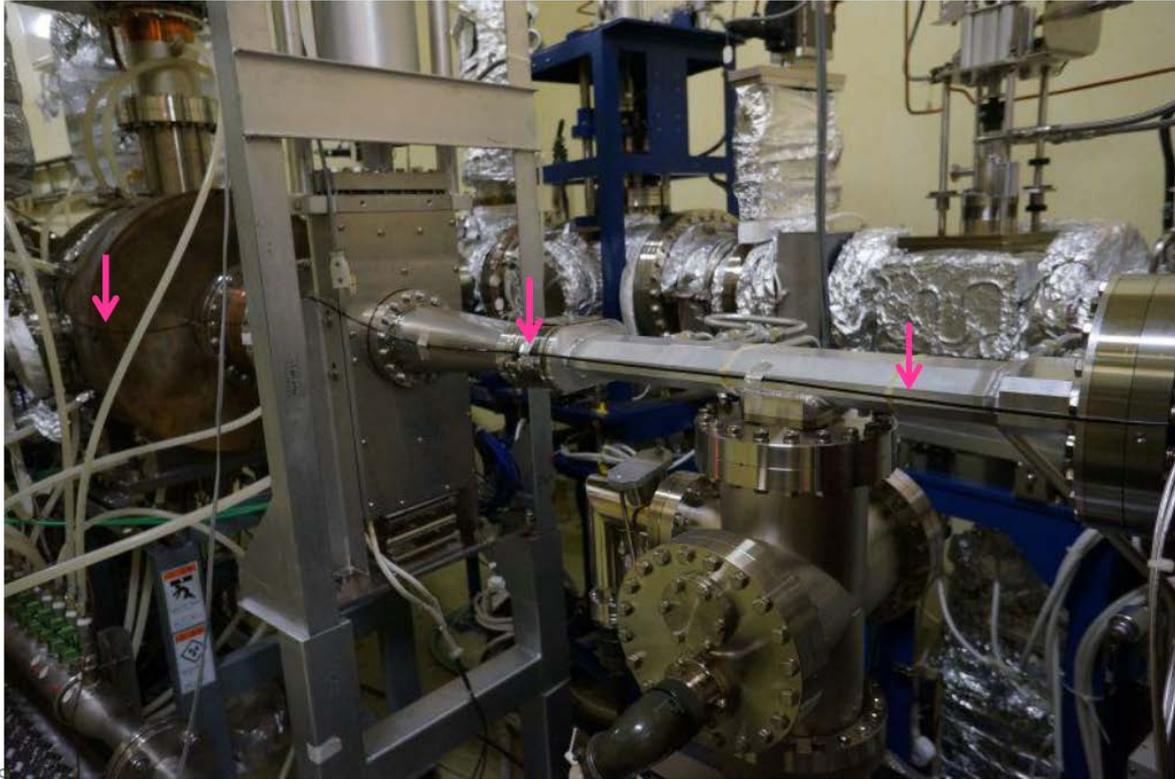
光ファイバー

- ① ビームロスによる荷電粒子が光ファイバー中を通ると、チェレンコフ光を発する。
- ② 光ファイバーの両端にPMT等の光検出器を取り付ける。
- ③ 出てきた信号をオシロスコープで観測。
- ④ 上流と下流の信号の時間差から、ビームロスの位置を計算。

- ▶ 真空チェンバーに直接取り付けることができる。
- ▶ 長距離にわたって設置できるため、細かい位置分解能が得られる。
- ▶ コア径：400～800um



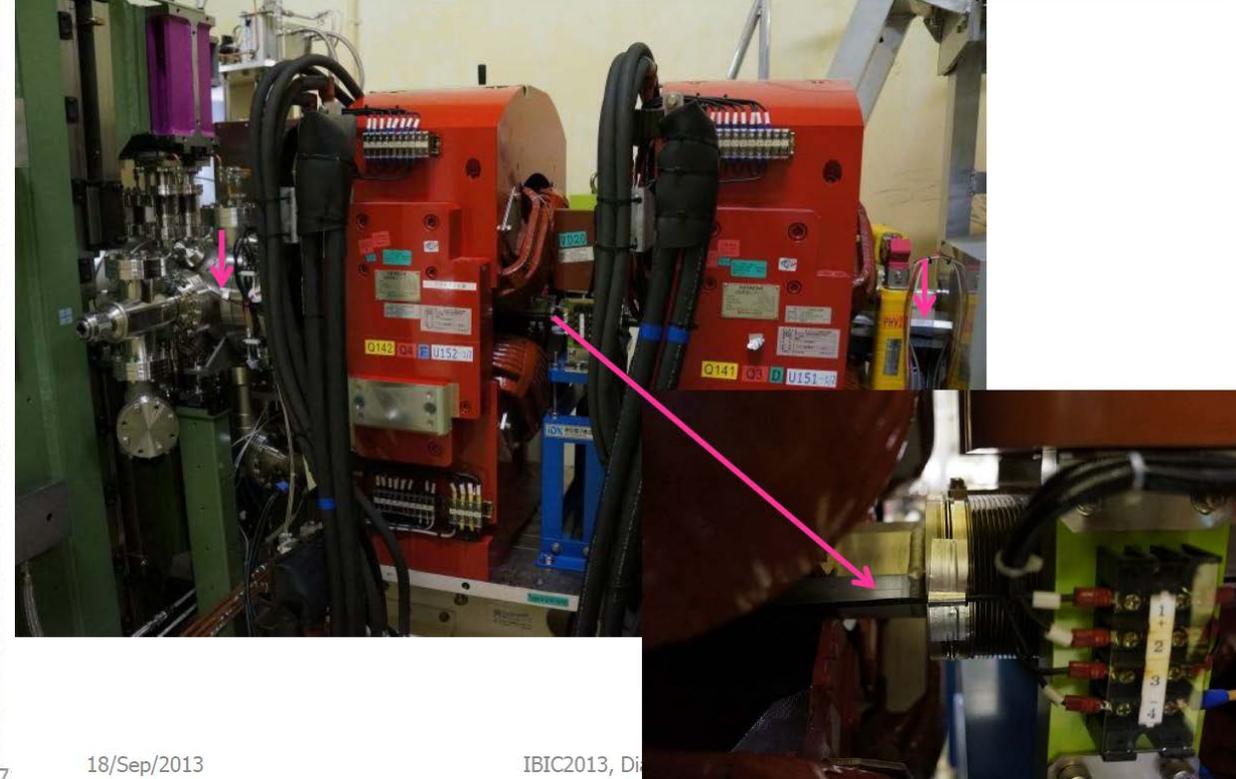
- Attach on the chamber



18/Sep/2013

IBIC2013, Diamond, UK

Inside of Q-magnet



18/Sep/2013

IBIC2013, Di

IBIC2013 Optical Fiber Based Loss Monitor for Electron Storage Ring
(T.Obina)

SuperKEKBのビームロスモニター

SuperKEKBロスモニターの用途

MR

- ▶ アボートトリガー (MPS)
- ▶ アボートの原因究明
- ▶ 運転調整

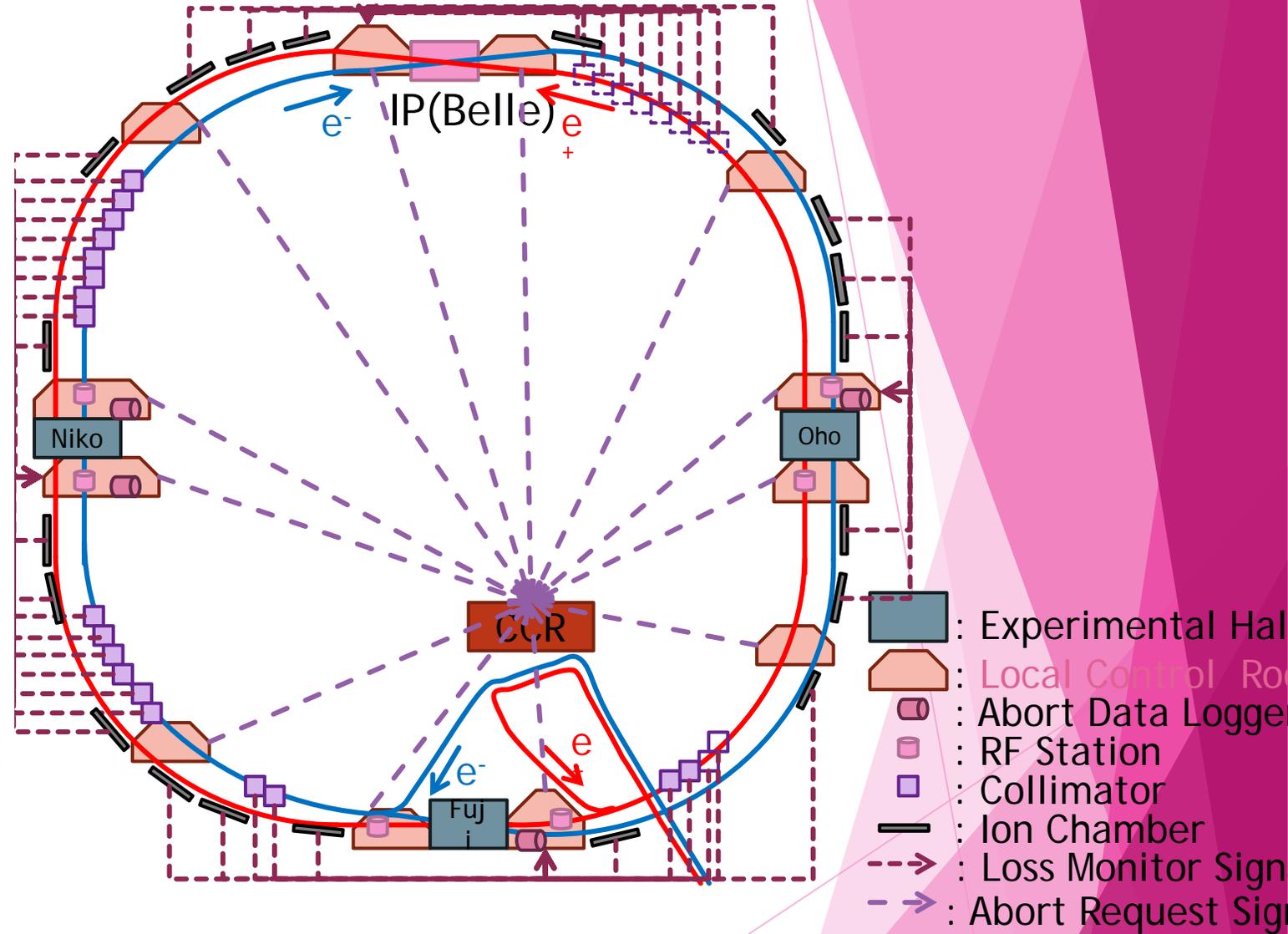
DR

- ▶ 入射調整

SuperKEKB

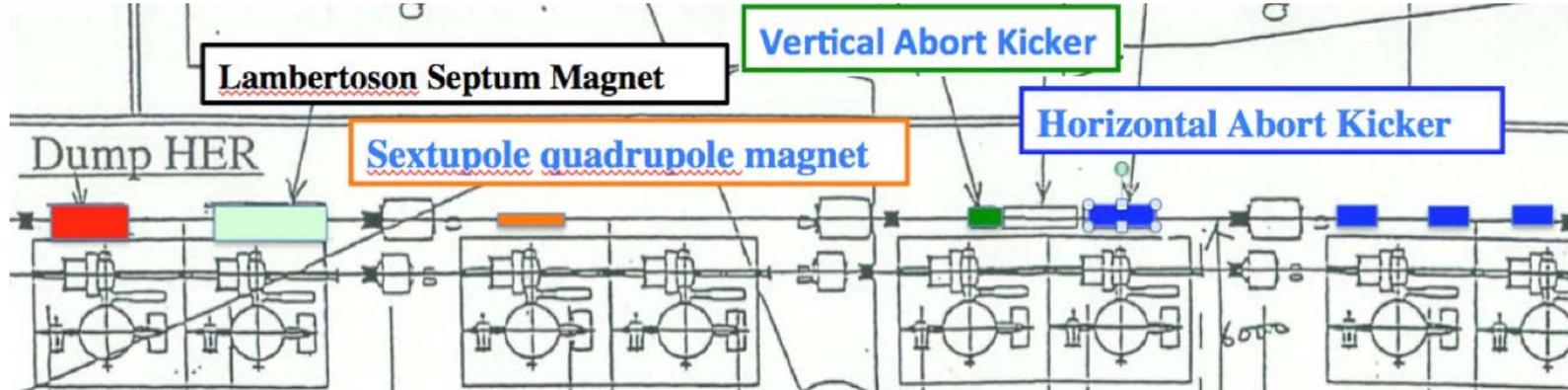
Machine Parameters

2017/September/1	LER	HER	unit	
E	4.000	7.007	GeV	
I	3.6	2.6	A	
Number of bunches	2,500			
Bunch Current	1.44	1.04	mA	
Circumference	3,016.315		m	
ϵ_x/ϵ_y	3.2(1.9)/8.64(2.8)	4.6(4.4)/12.9(1.5)	nm/pm	():zero current
Coupling	0.27	0.28		includes beam-beam
β_x^*/β_y^*	32/0.27	25/0.30	mm	
Crossing angle	83		mrad	
α_p	3.20×10^{-4}	4.55×10^{-4}		
σ_s	$7.92(7.53) \times 10^{-4}$	$6.37(6.30) \times 10^{-4}$		():zero current
V_c	9.4	15.0	MV	
σ_z	6(4.7)	5(4.9)	mm	():zero current
v_s	-0.0245	-0.0280		
v_x/v_y	44.53/46.57	45.53/43.57		
U_0	1.76	2.43	MeV	
T_{xy}/T_s	45.7/22.8	58.0/29.0	msec	
ξ_x/ξ_y	0.0028/0.0881	0.0012/0.0807		
Luminosity	8×10^{35}		$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	



SuperKEKBでは、高ルミノシティを得るための大電流衝突型加速器で、大電流から加速器・検出器のハードウェアを守るために、ビームの不安定性やハードウェアトラブルが起こった時に素早くビームをダンプするアボートシステムを整備している。

アボートシステム



ビームダンプにかかる時間：10 us (1ターン)

アボートキッカー磁石の立ち上がり時間：200 ns

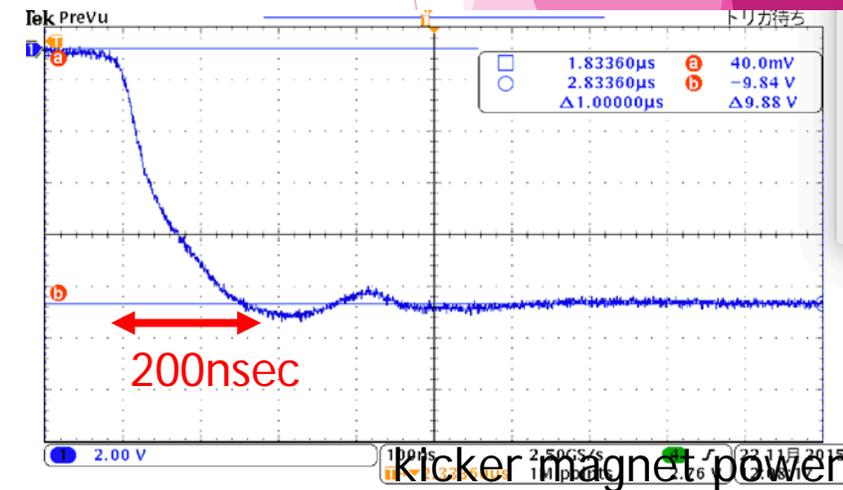
(アボートギャップとしてビームが入っていない).

ハードウェア保護のためには、キッカーの立ち上がりと、アボートギャップのタイミング調整が必要.

トリガー信号：

- 各ハードウェアの異常によるI/L
- ビームロスを検知するロスモニター
- ビーム振動とRF位相間のSynchronous phaseの変位
- オペレータによるマニュアルトリガー

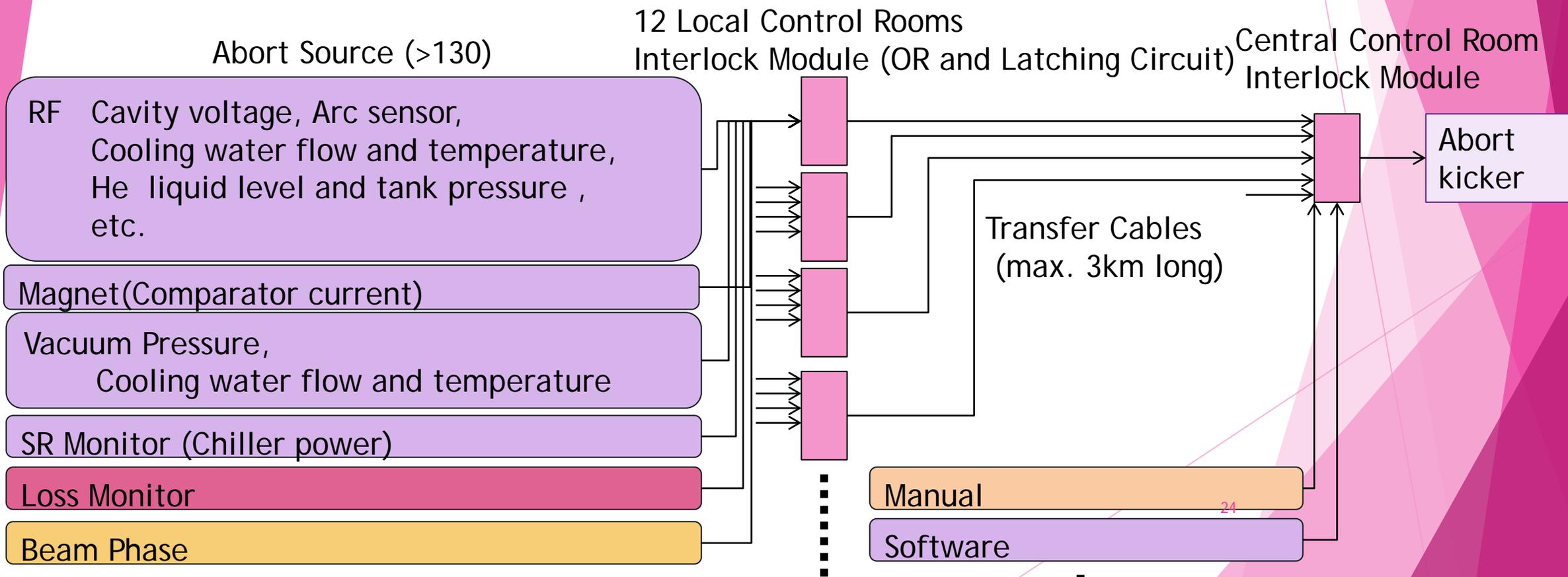
12のローカル制御室に集められてから、中央制御室へ送られる.



アボートトリガー

ロスモニターを含むハードウェアからのアボートトリガー信号は、SuperKEKB全周にある12か所のローカル制御室（LCR）にいったん集約される。

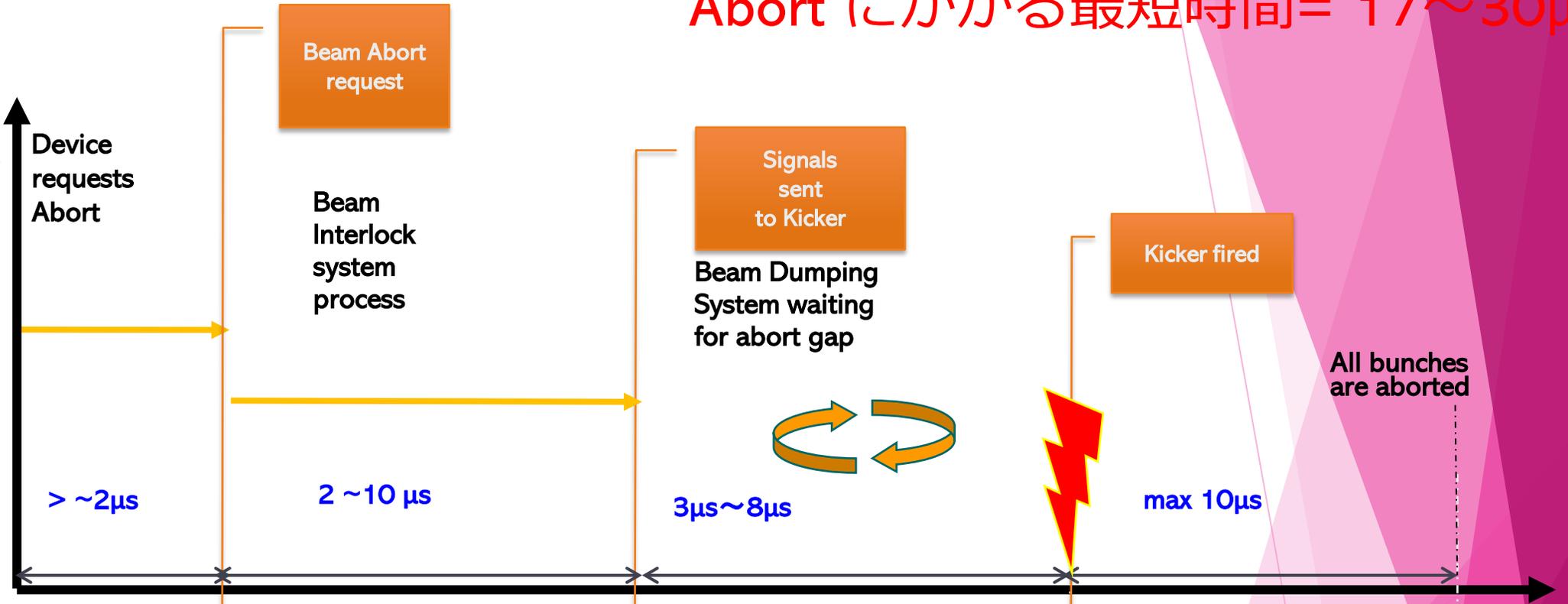
各LCRからの信号、ソフトウェア的なアボートトリガー、手動アボートトリガー信号を中央制御室で集約した後、アボートギャップと同期したトリガー信号を生成し、アボートキッカーに送られる。



アボートトリガー所要時間

Abort にかかる最短時間 = 17 ~ 30 μ s

a failure is detected...



各ハードウェアの反応速度に依存 (ロスモニター < 2 μ s)

主にLCRからCCRまでの光ケーブルの長さに依存。
10 μ s for D1, D2 (near Bellell), 2 μ s for D7 or D8 (measured).

t2 アボートリクエスト信号と、ビームの周回信号を同期させ、アボートギャップの位置でアボートキッカーを立ち上げらせる信号を作る。
FPGA.: Max 5 μ s
CCRからキッカーまでの距離 (400m): 2 μ s
Thyratron ON: 1 μ s
Rise time for the kicker: 200ns

t4 ビームをすべて蹴りだすのにかかる時間 ~ 10 μ s

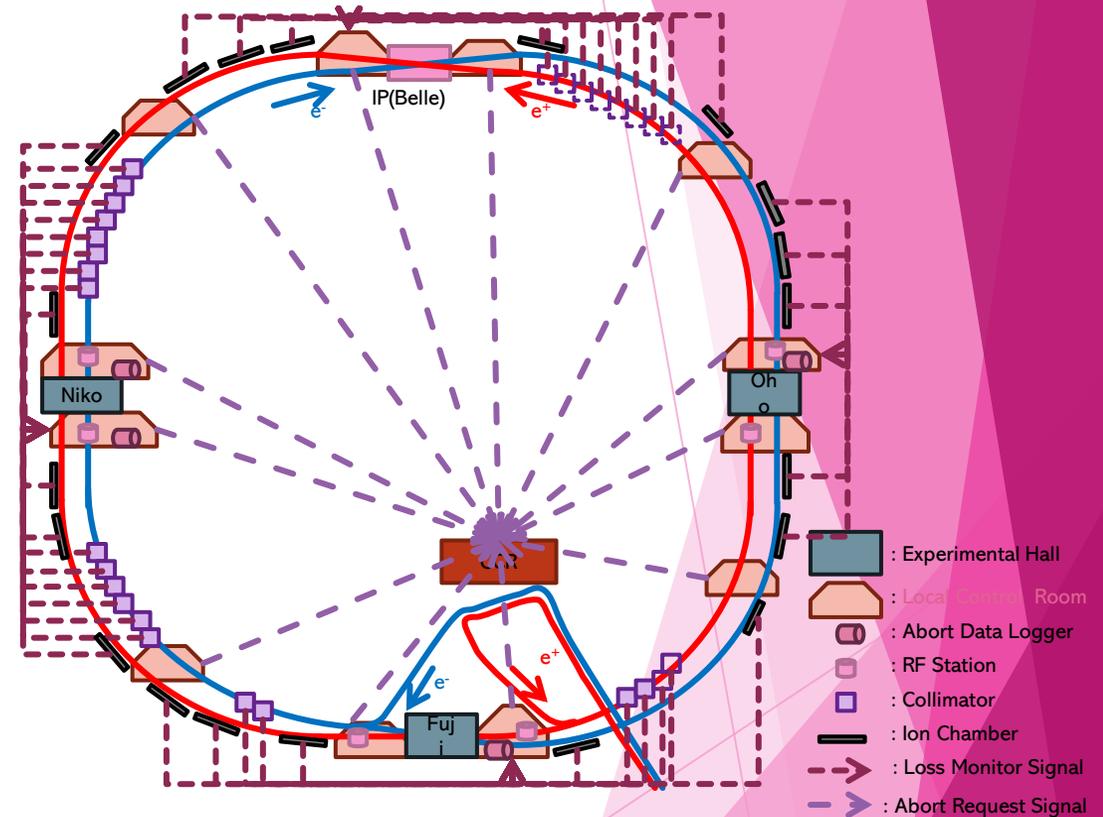
ロスモニター

センサー数: 150個

- **イオンチェンバー (IC)** : Free Air Ion Chamber (20D coaxial cable)
長さ: 5-8m
ドリフト時間: 1ms
トンネル内の広い範囲をカバーする。
- **PIN photo diode**: 2.65mm × 2.65mm
ビームロス後～1ターンでアボートトリガーを出す。
ロスした位置やリングを区別できる。

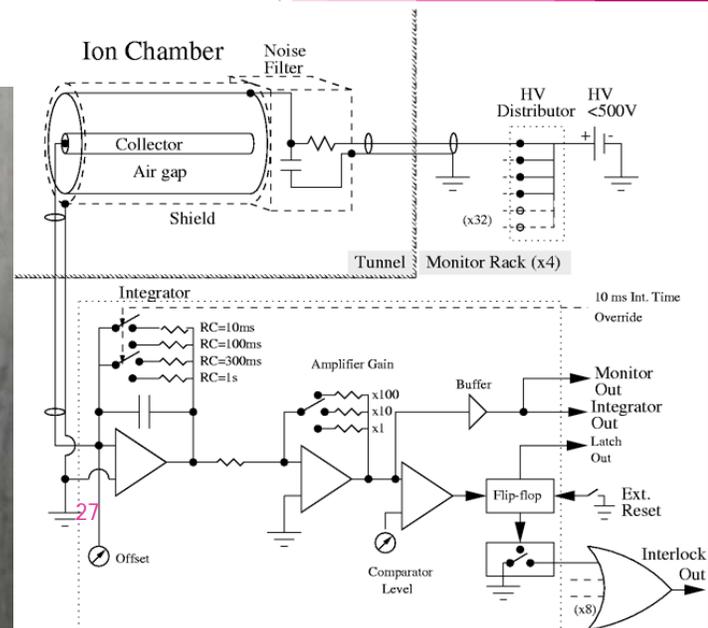
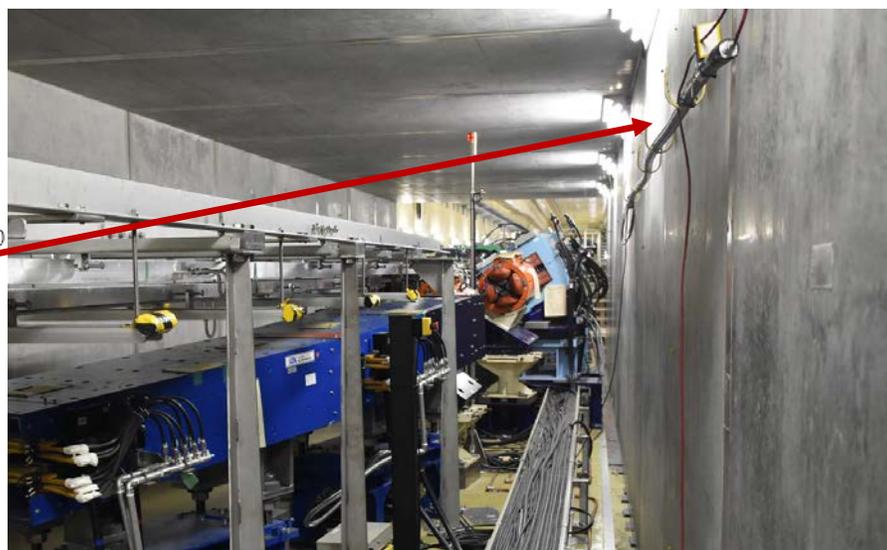
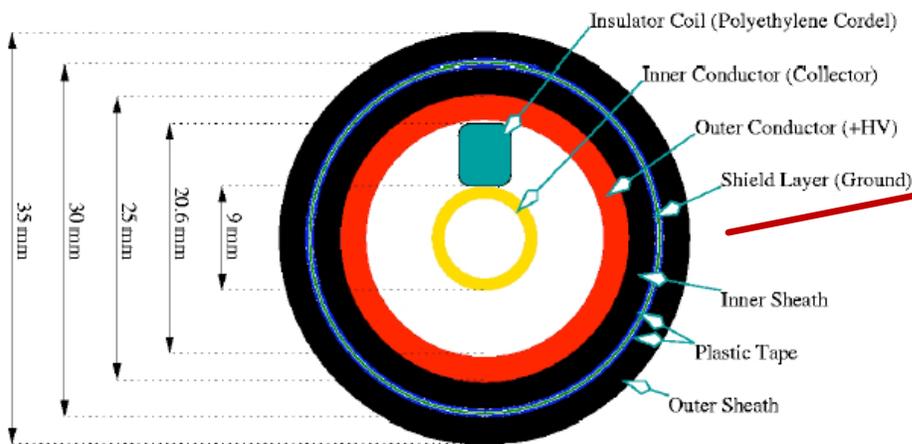
それぞれの信号はリング内の4か所のLCRに集約される。
最長ケーブル～400m

- **ダイヤモンドセンサー**
Belle検出器側のセンサーとしてIRに設置
- **光ファイバー**
入射部付近の位置分解能が欲しいところに設置。
バックアップモニターとして利用。



イオンチェンバー

- ▶ 広範囲のビームロスをカバーするため、トンネル内の全周にわたってケーブルラックや壁に設置。
- ▶ Free Air Ion Chamber (20D 同軸ケーブル)
- ▶ HV: +200V HV
- ▶ チェンバー中でのドリフト時間: $O(1\text{ms})$.
- ▶ 長さ: 5-8m (トンネル長の 1/5 をカバー)
- ▶ 積分器でのトリガー生成時間: 数ターン

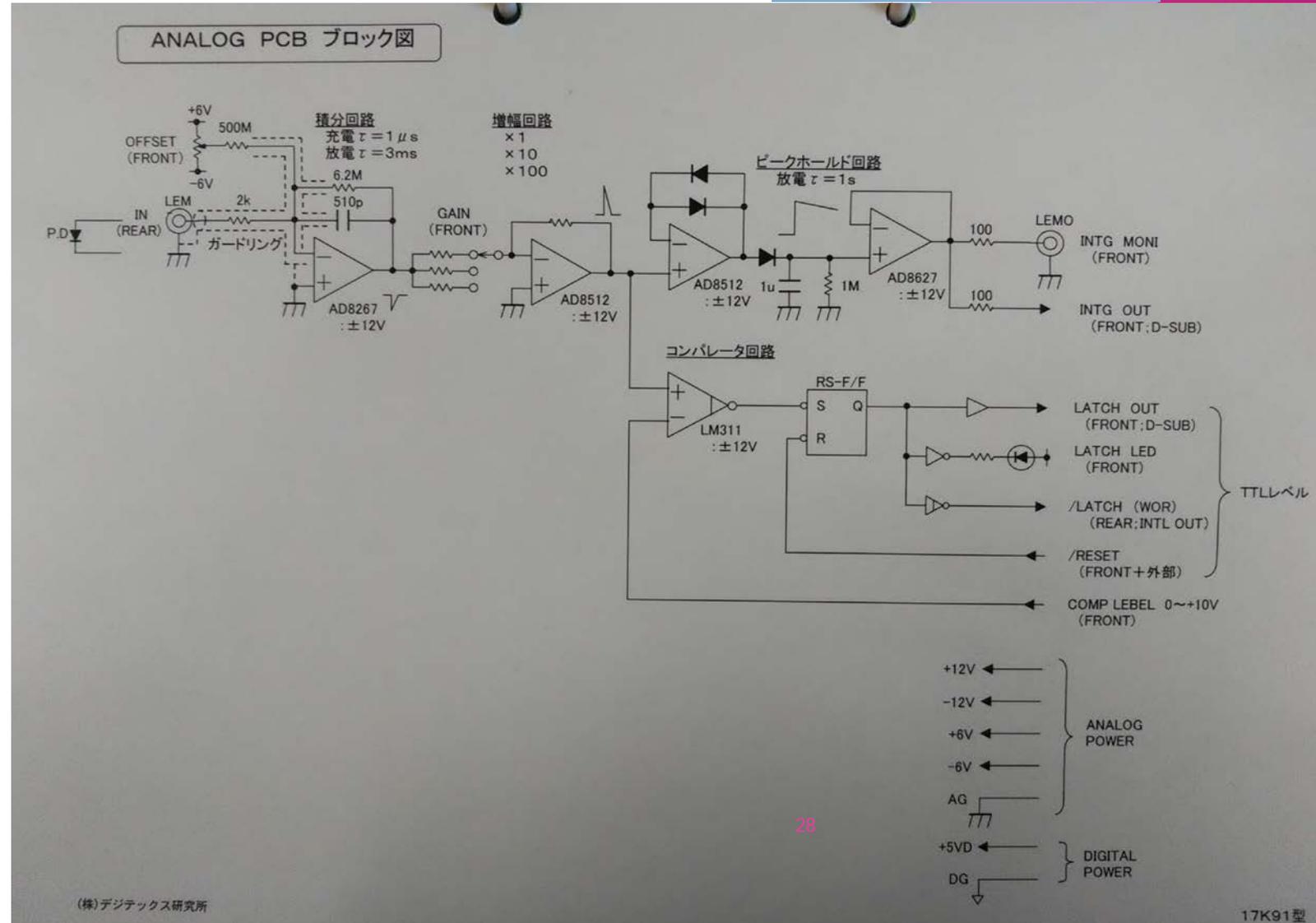


PIN PD

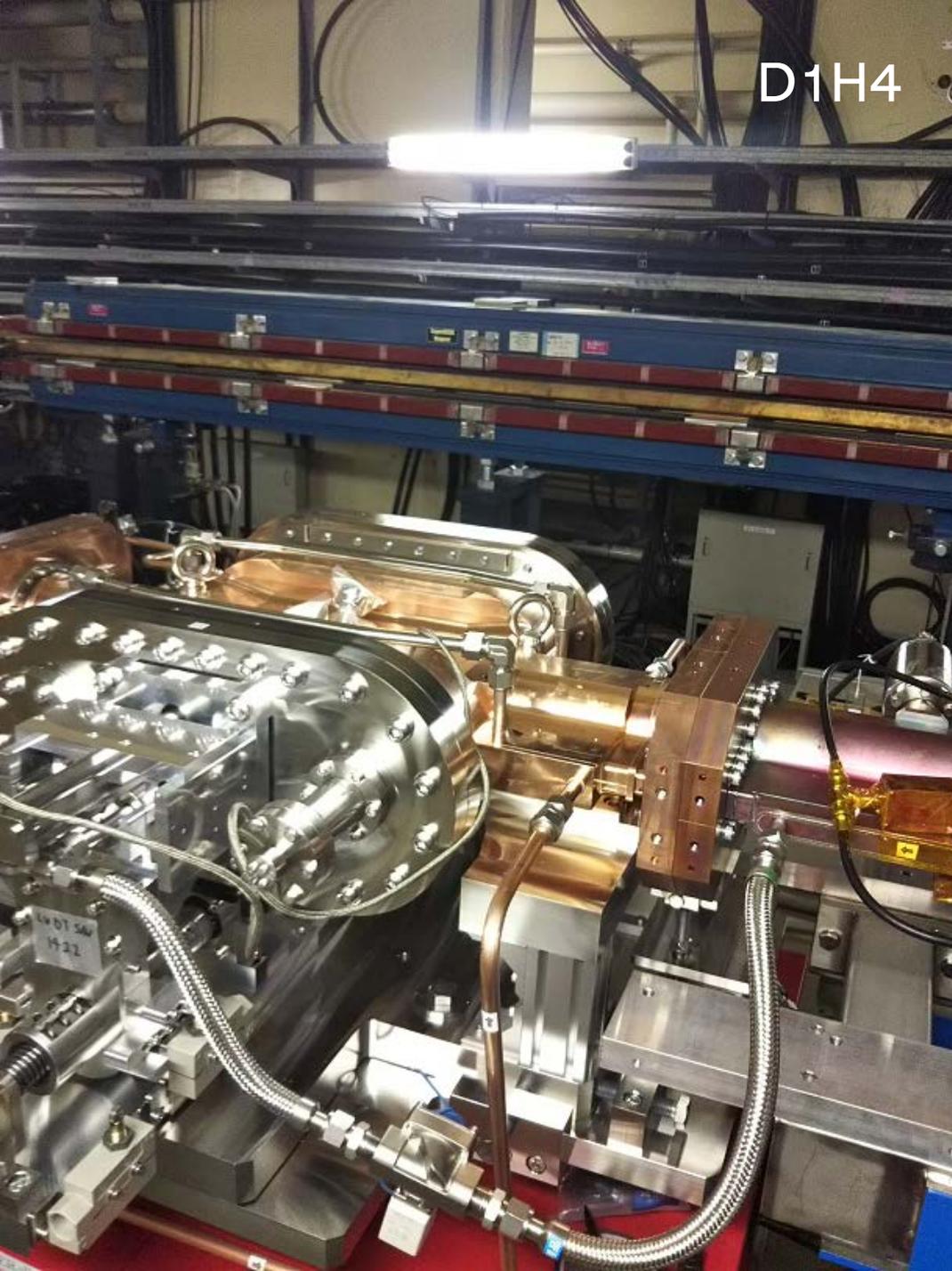
2.65mm × 2.65mm



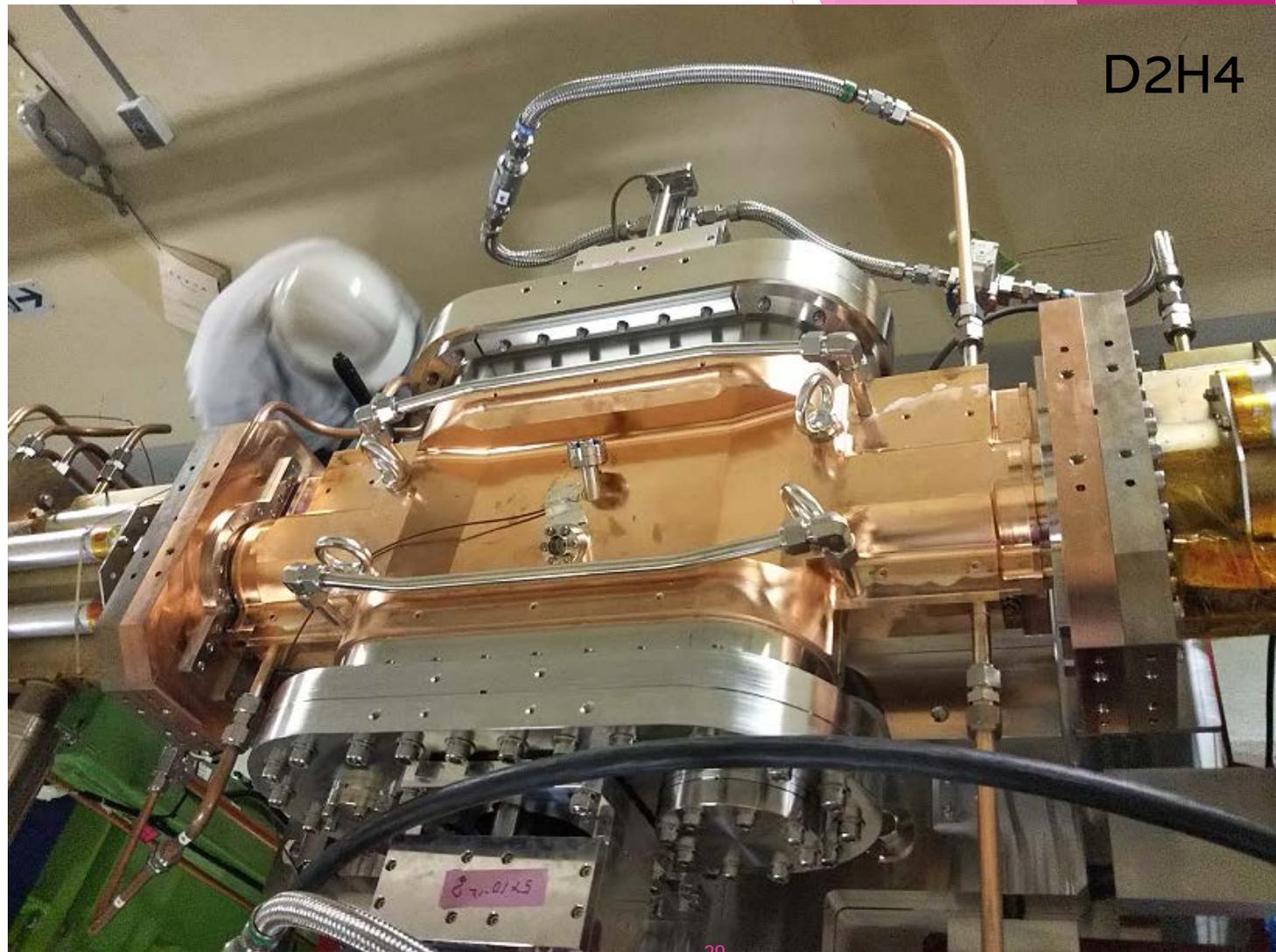
- ▶ 急激なビームロスからコリメータを保護するため、全コリメータの下流に設置。
- ▶ リング内でアパーチャーが最も狭いところに当たるので、リング内でロスが起こり始めるのも一番速い場所に相当。
- ▶ 2 PD in one box ×4 @collimator
- ▶ 積分器に入力してトリガー生成。
- ▶ アボートトリガー生成時間：<math>< 2\mu\text{s}</math>

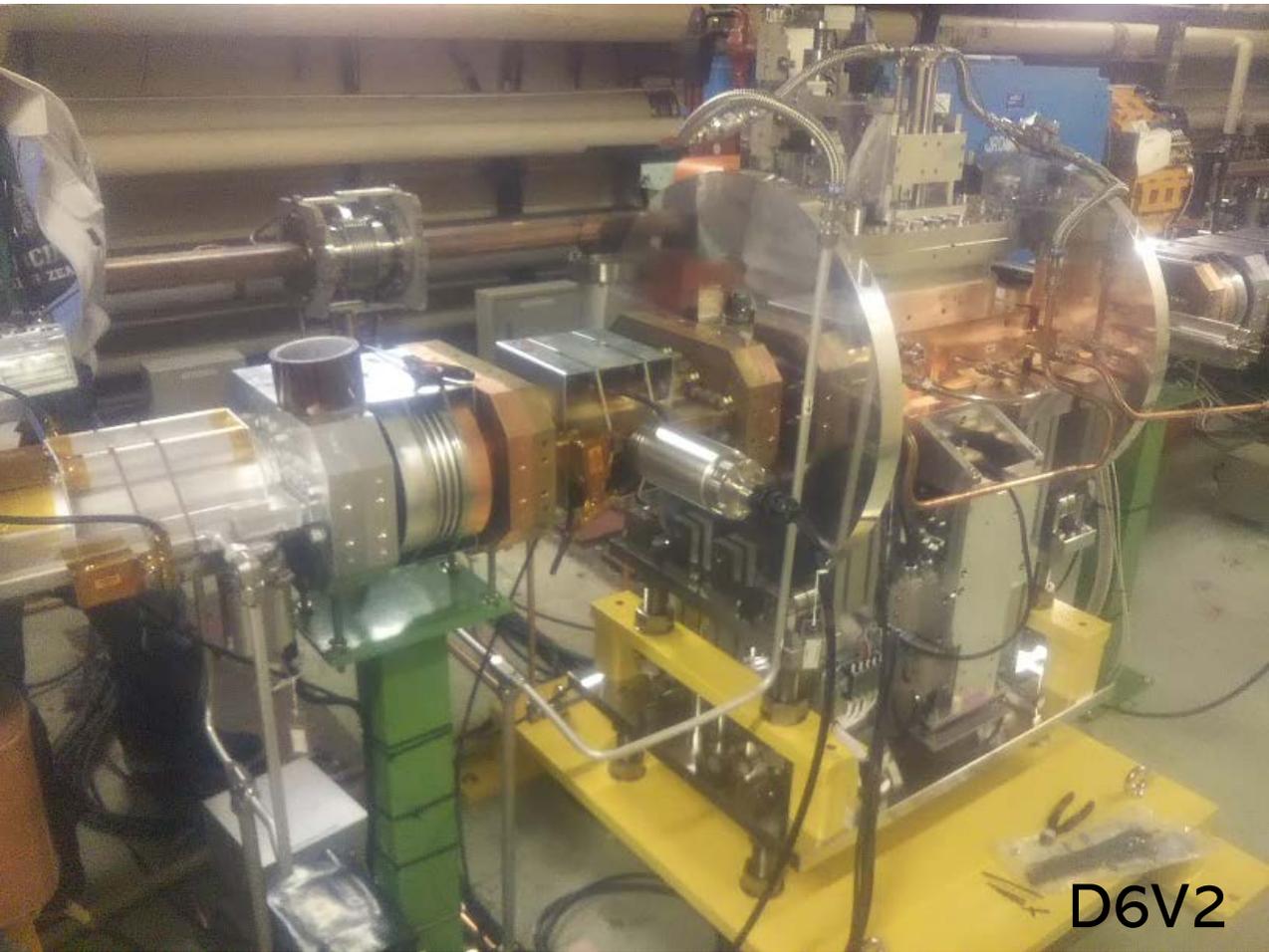


D1H4

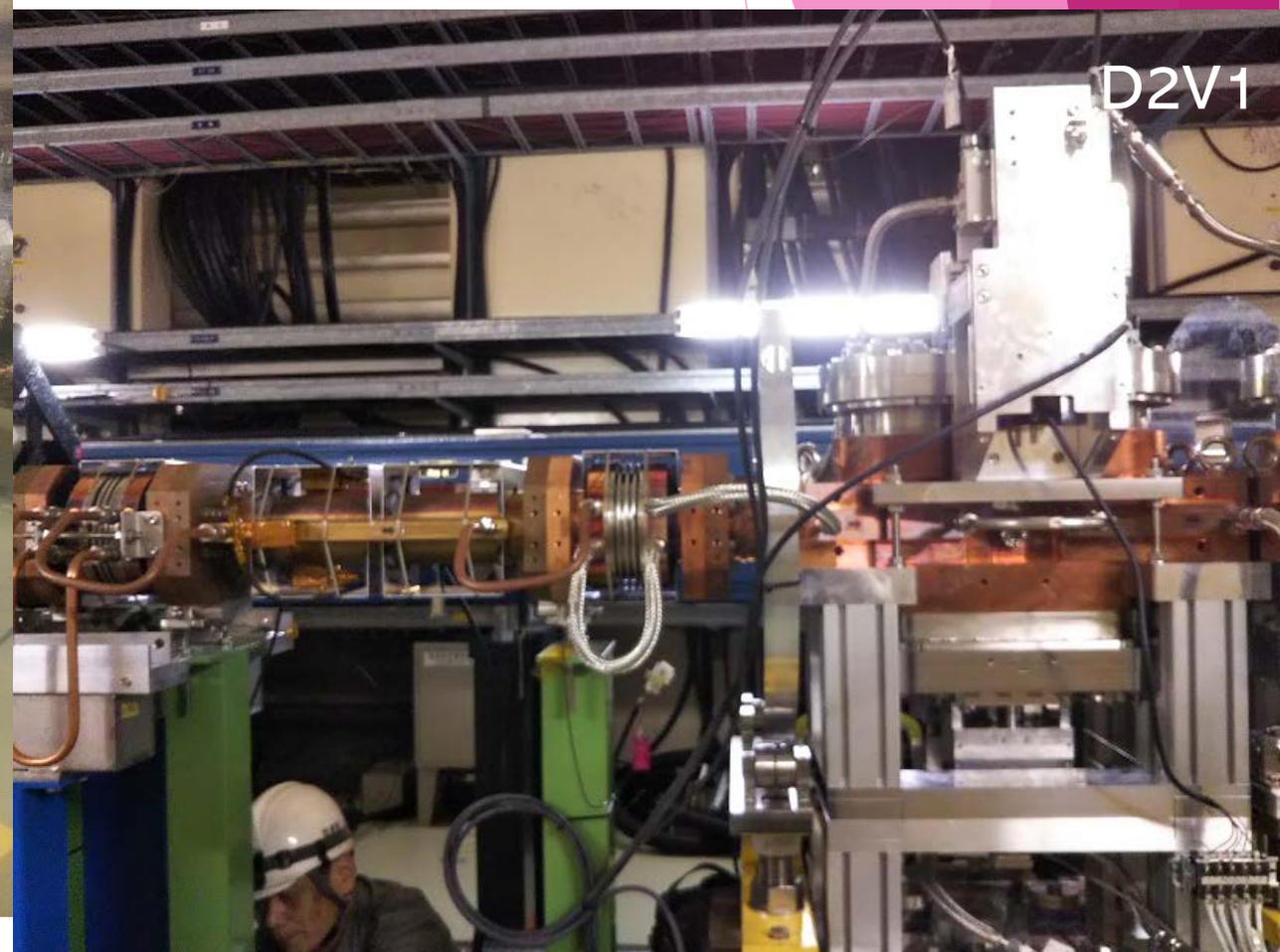


D2H4



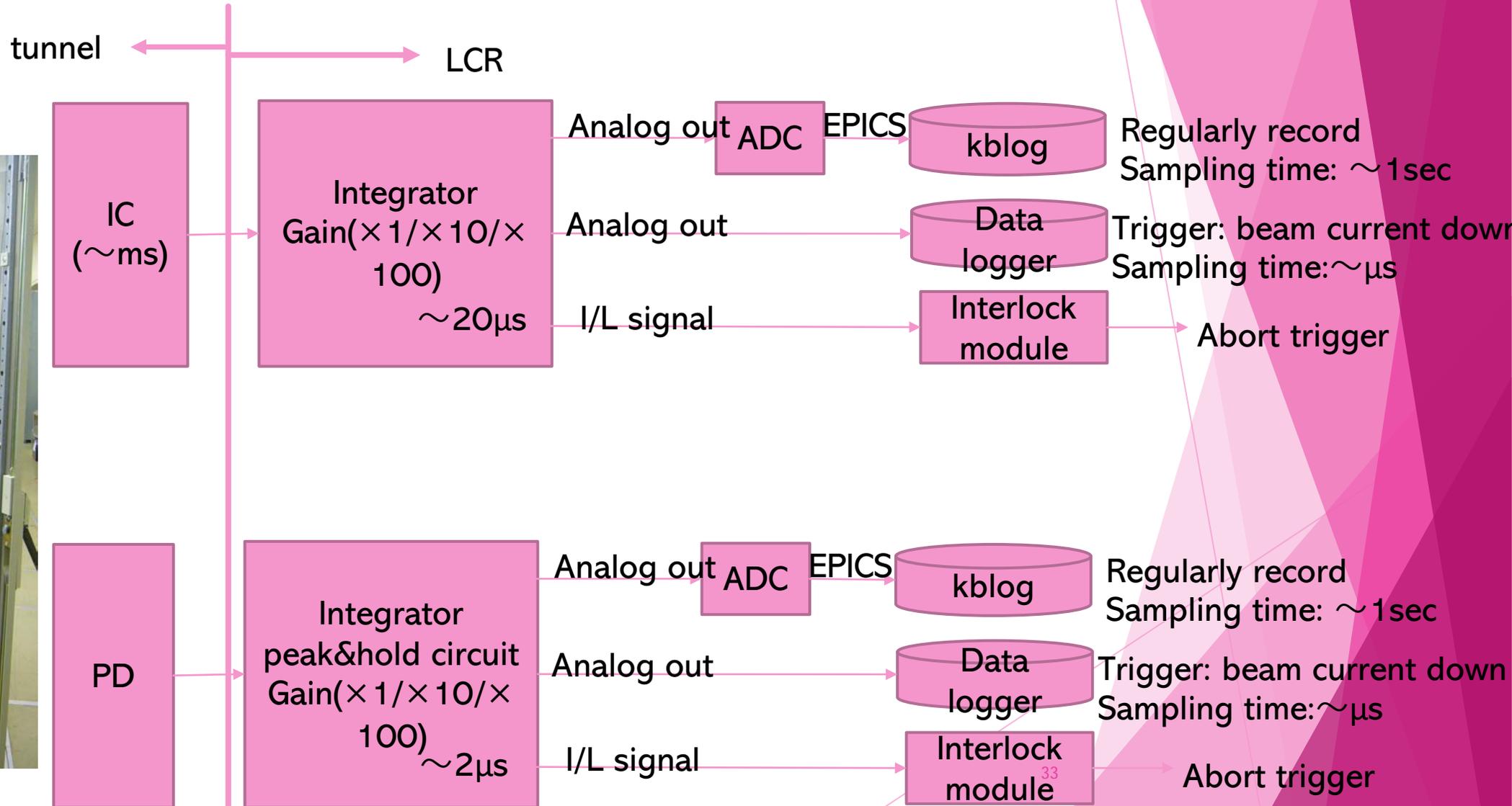


D6V2



D2V1

ロスモニター信号



ADC

- ▶ Both sensors signal is read by 16bit ($\pm 10V$)ADC module (VME).
 - ▶ Resolution $\sim 0.3mV$
 - ▶ Sampling : 1.024kHz
 - ▶ Calculate mean, min, max of unit time
 - ▶ Unit time: **1s**/0.5s/0.25s



データロガ

各種アンプユニット (オプション)
最大 10 台のアンプユニットが取り付け可能



- ▶ Graphtec GL7000
- ▶ High speed voltage unit : GL7-HSV
- ▶ 1MS/s(1 μ s)、16Bit A/D converter
- ▶ Range : 100,200,500mV, 1~100V
- ▶ Resolution: 0.25% of voltage



アボートモニター

KEKBリング：周長3km

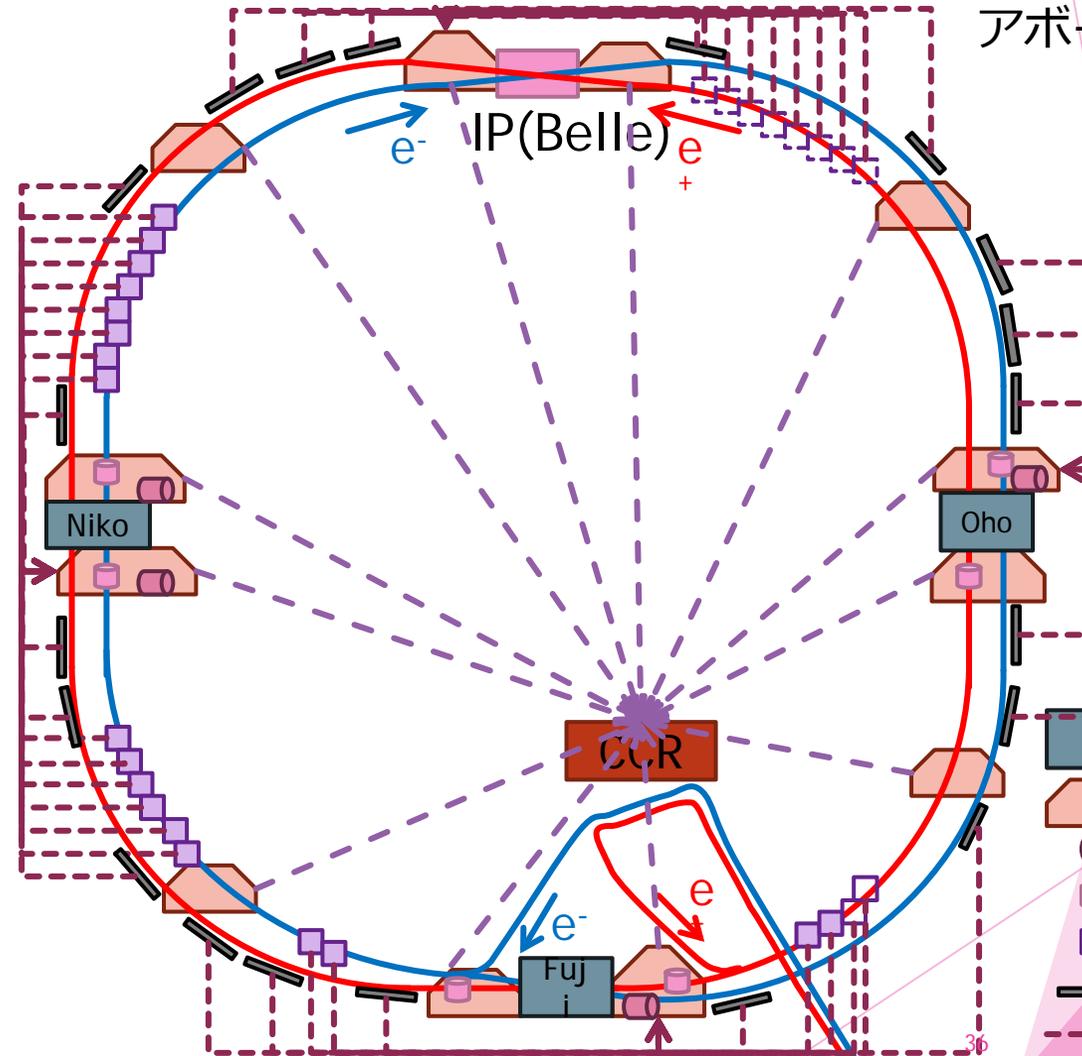
12 ローカル制御室 (LCRs)

ロスモニター信号⇒4 LCRs,

RF 信号⇒6 LCRs

アボートモニター⇒6 LCRs.

- ビームアボートの**瞬間**の信号を観測・比較することで、アボートの原因は何か、アボートシステムは正しく働いているか等を知ることができる。
- アボートの瞬間のビームロスの様子、その他のビームに直接関係する信号を見る。
- それぞれの因果関係を考えて、アボートの原因を特定。
- ハードウェア毎に応答が異なるため、各信号の応答や遅れを測定し、信号間の関係を調べ、必要な測定時間・サンプリング時間を決定。
- アボートの原因毎の特徴から、加速器運転のオペレータ、シフト職員がビーム運転へ結果をフィードバック。



- Experimental Hall
- Local Control Room
- Abort Data Logger
- RF Station
- Collimator
- Ion Chamber
- Loss Monitor Signal
- Abort Request Signal

アボートモニター

- 設置場所 : 5 LCRs+TB4.
- High-sampling-rate Data Logger
- 1データの長さ : 300~600 ms
- サンプリング時間: 1 ~5 us
- 入力信号: 24~32channels/LCR
 - ビーム電流(DCCT)
 - 入射トリガータイミング
 - アボートトリガータイミング
 - ロスモニター信号 (PIN PD, IC)
 - RF 信号 (空洞電圧, クライストロン出力等)
 - ビームフェーズ
- トリガー信号 : **アボートトリガー**、ビーム電流ダウン
- 全アボートを記録し、原因を調べる。



アボート例：マニュアルアボート

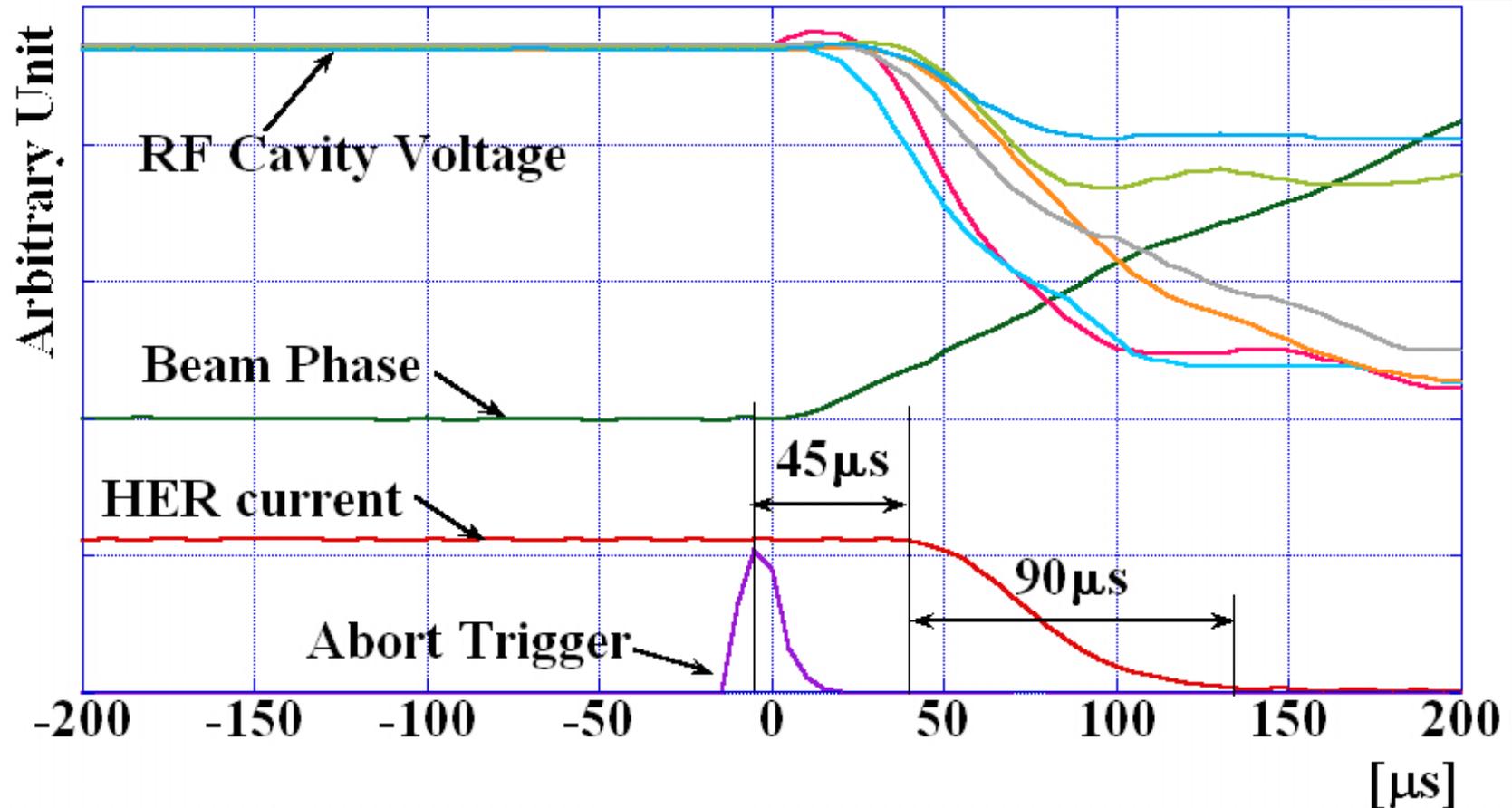
正しくアボートされた場合の基準信号として、マニュアルアボートでのそれぞれの信号応答を調べる。

ビーム電流(DCCT):

45 μs . 遅れ + 90 μs . 傾き



電流減少の様子が異なる場合は、正しくダンプにアボートされておらず、他の場所でロスしていることになる。



アボート例：ビームロスアボート

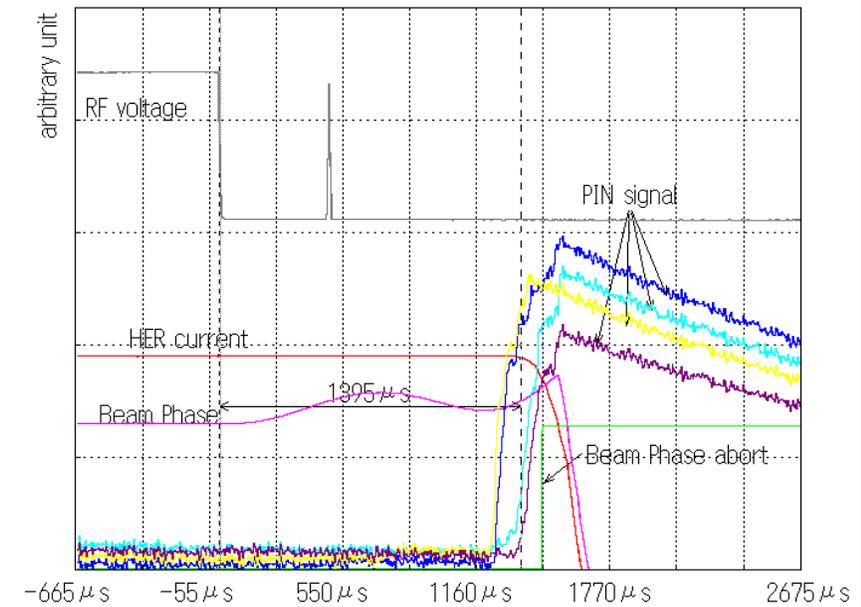
▶ KEKB初期の問題

- ▶ ロスモニターとしてICを使っていたが、ビームロスからアボートまで数msかかっていたため、正規軌道からずれたビームが可動マスクにぶつかって溶かしてしまった。



▶ PINを使った速いロスモニターを開発。

- ▶ 可動マスクにPIN PDを取り付け、マスク損傷の前にアボートトリガーが発報するようにした。
 - ▶ パルス信号をADC(CCRロスモニターのdisplayに使用)で読み出すためにtrack&hold 回路にし1sのdecay time を持たせた。
 - ▶ それまで使用していたイオンチェンバーと互換性を持たせるようにgain調整をし、gain切り替え部以後は同じものを使用。
- ▶ マスクが傷ついたときのアボートを見ると、ビームロスに伴ってPIN信号が跳ね上がっていく様子わかる。ビームロスの1.4ms前にRFがダウンし、Beam Phase が揺れ出している。ビームロス開始からアボートリクエストまで $\sim 100\mu\text{s}$ かかり、ビームはマスクを直撃した。
- ▶ この後、数mAのビームロスでアボートするように調整。



アボート例: 真空悪化が原因のロスモニターアボート

ロスモニターアボートが発報.



モニターを調べると、ビーム位相振動 & ビームロスが観測された.

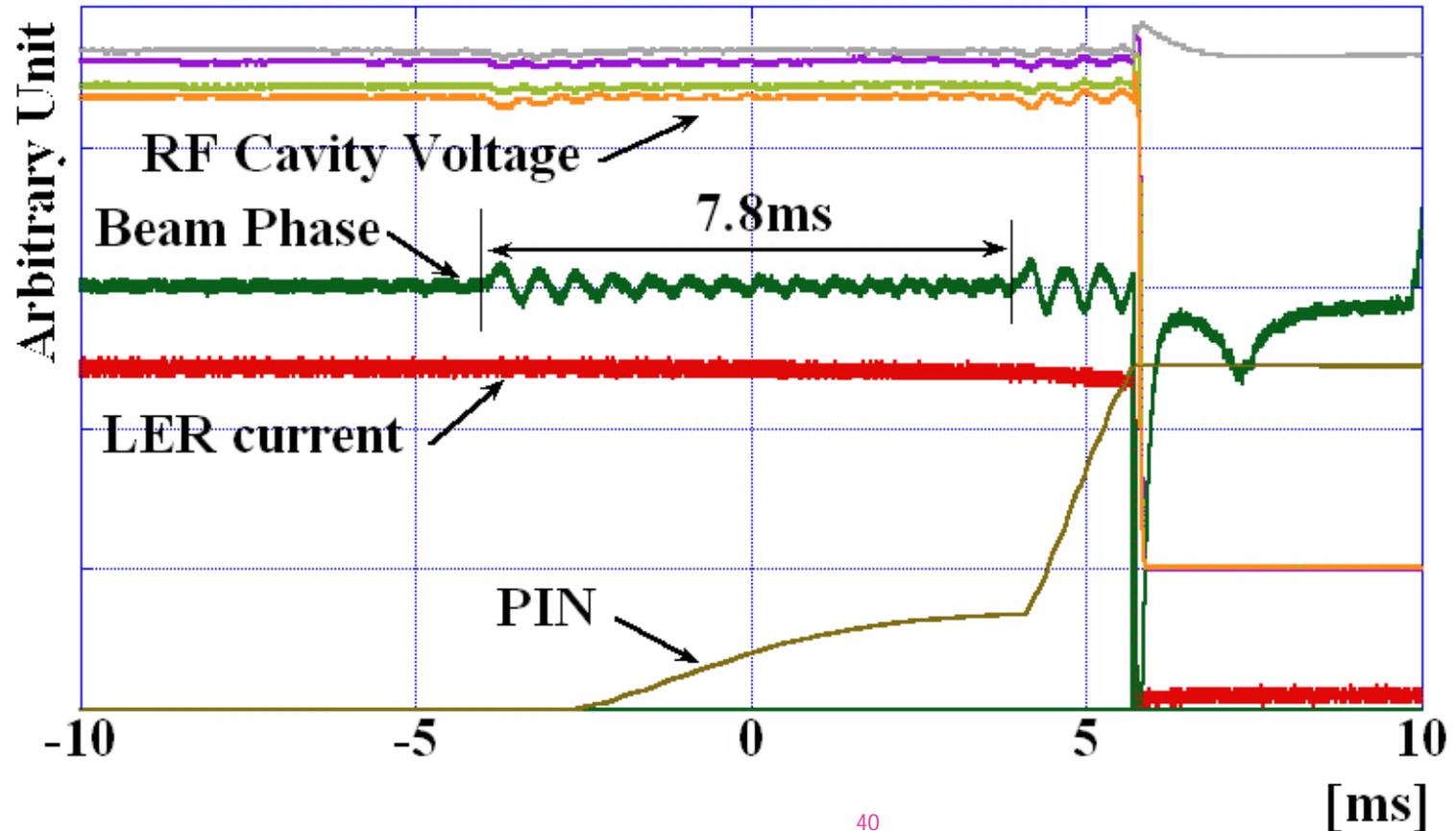
真空度がリングのどこかでスパイク状に悪化



ビームはリング内のアパーチャの狭いところでロス.

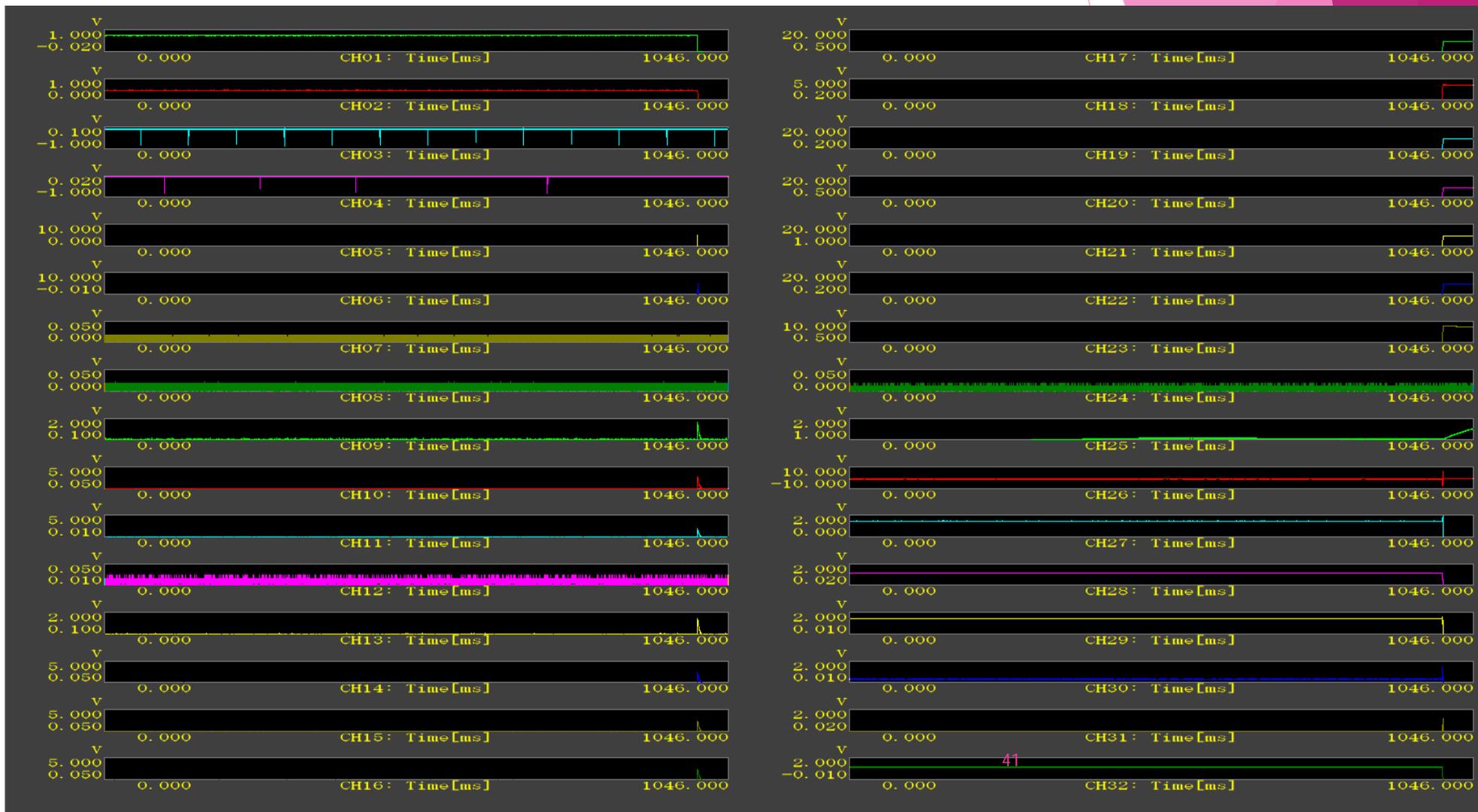
コリメータを調整

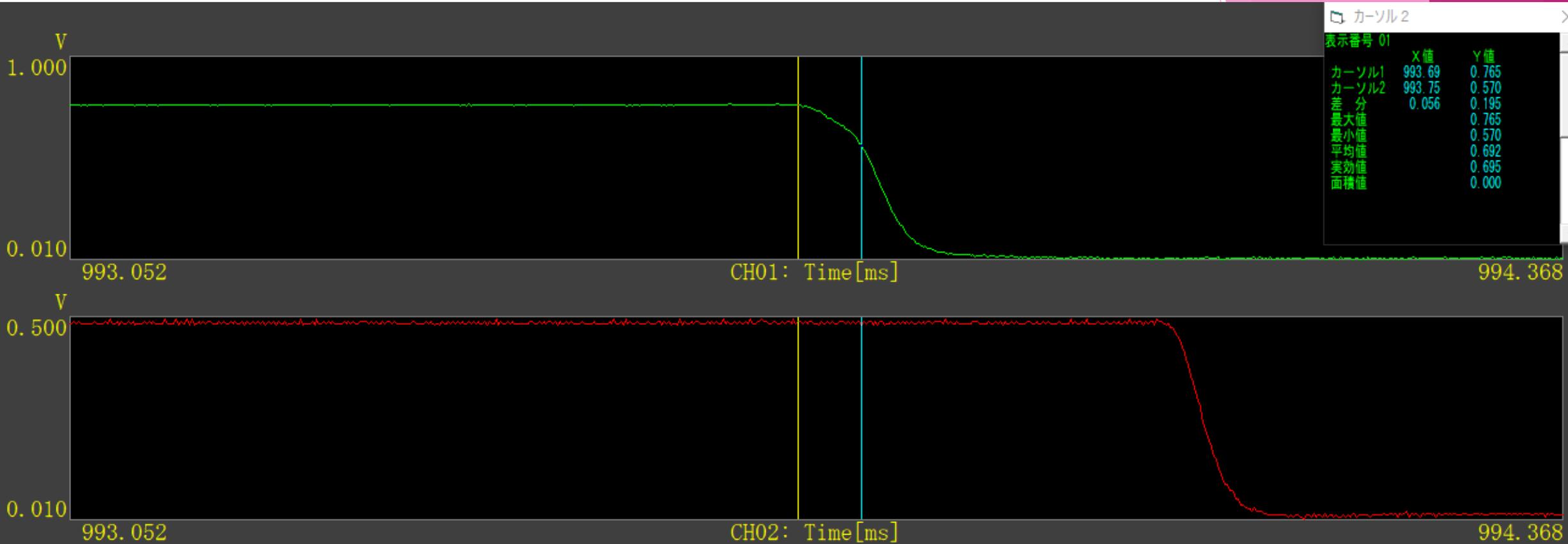
⇒コリメータ部のPIN LMがアボートトリガー発報.



アボート例:QCSクエンチを引き起こしたロスモニターアボート

D12 collimator, D1 collimator, D1V1 collimator 下流のケーブルラックに付いたICの順でAbort trigger発報、両リングAbort
大きなbeam loss (~100mA) があって、一瞬でD 1 直線部にbeamをばらまいた。その時に、LMやQCSに同時にbeamが入って、abort&クエンチを引き起こした。

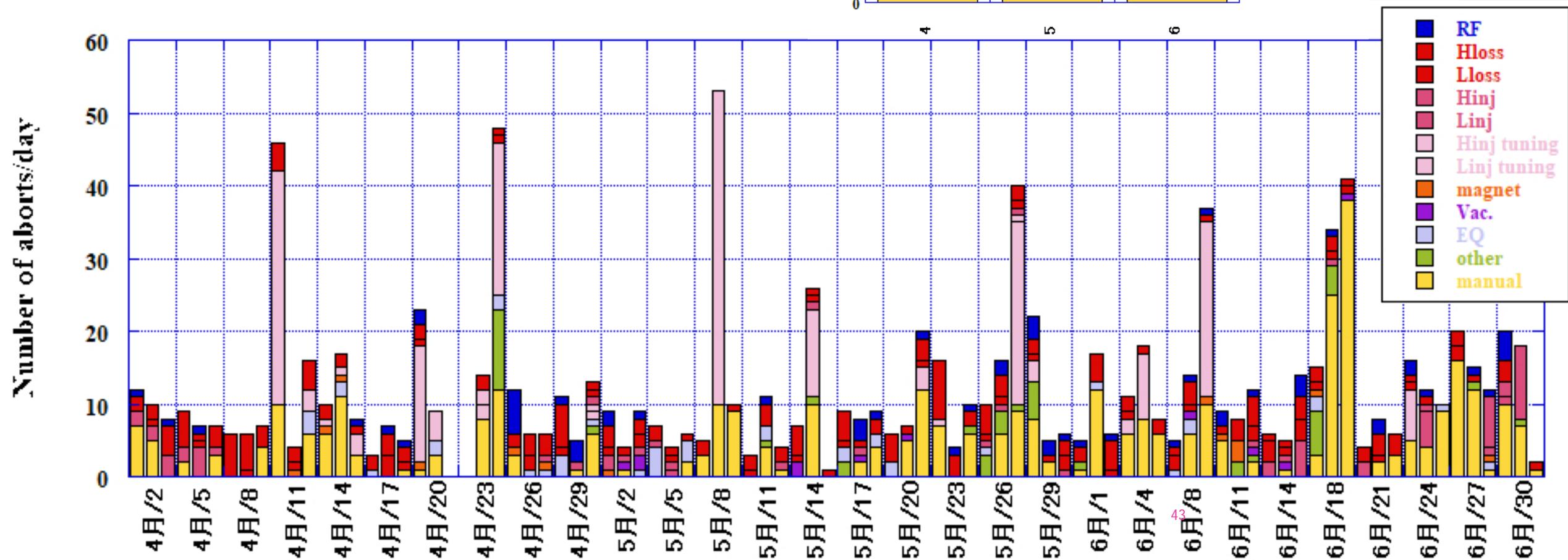
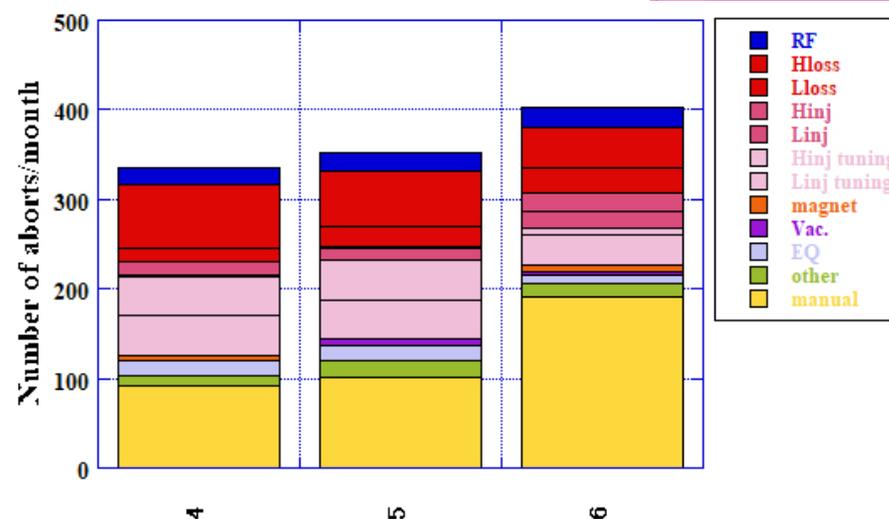




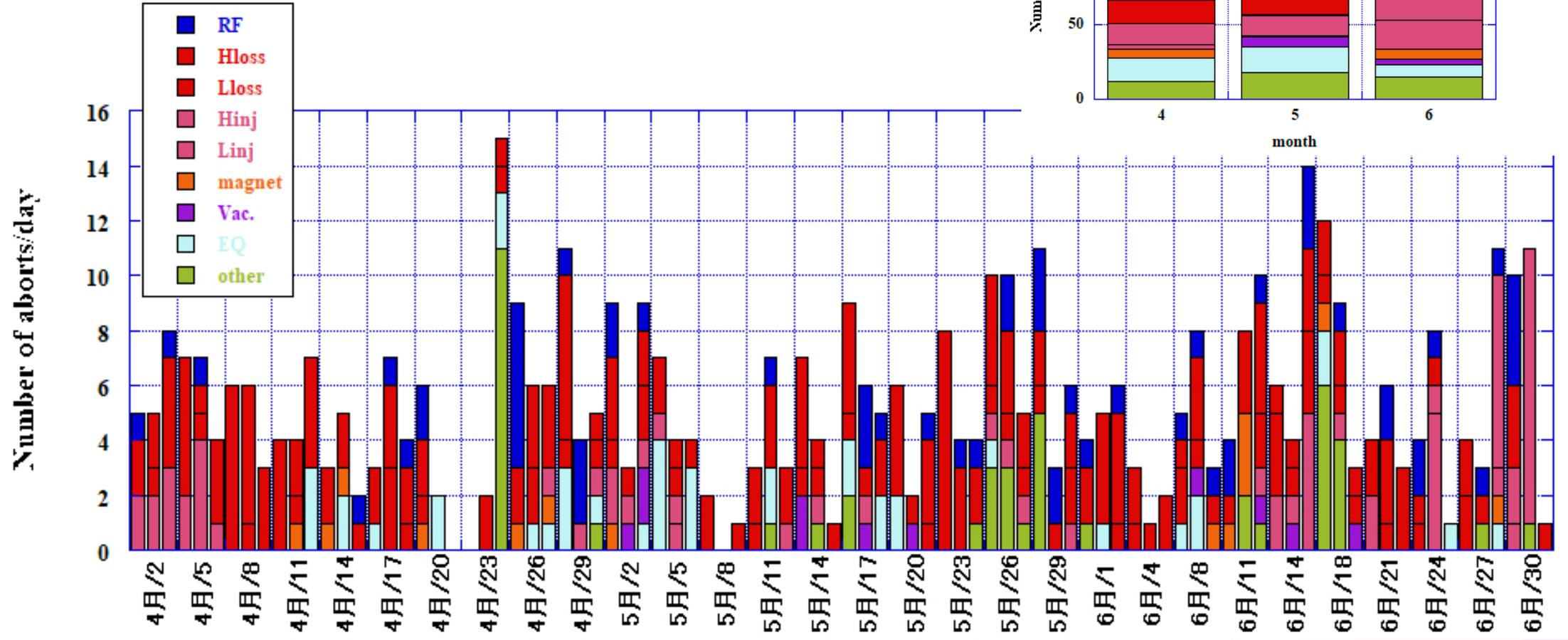
HER ~200mA loss <5turns

SuperKEKB開始時は、ビームロスによるQCSクエンチが多かったが、コリメータ調整を行って、QCSにロスビームが飛び込まないようにした。

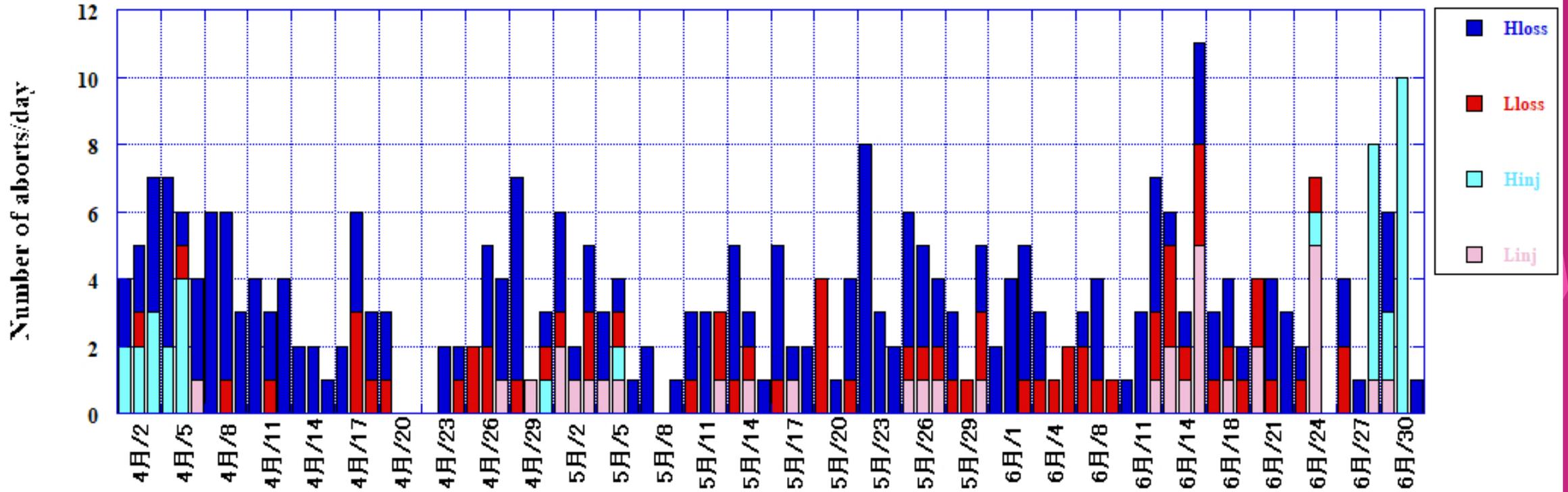
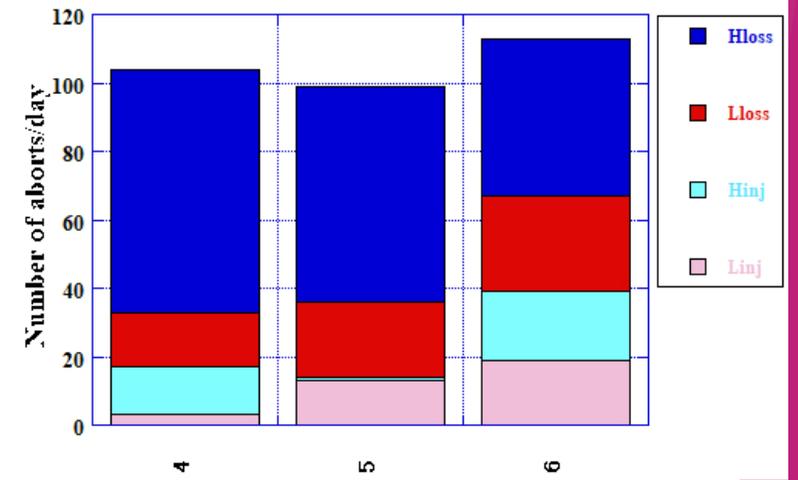
2020/4/1~7/1までの Abort



Manual 及びinjection tuning中を除くと

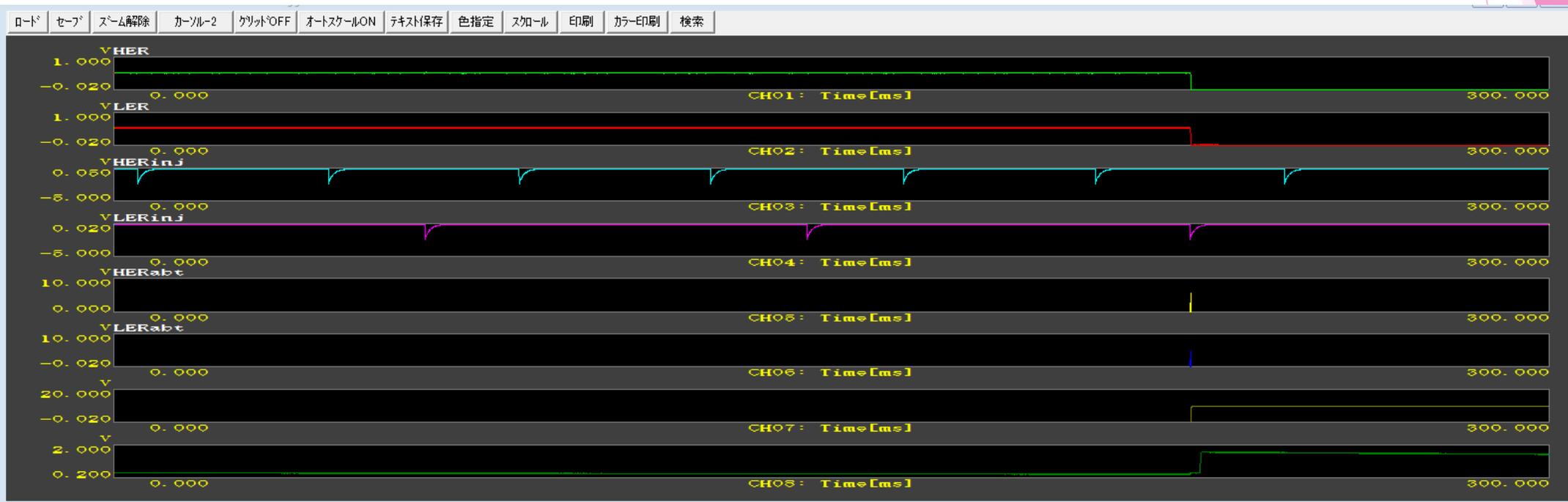


Beam に関係すると思われるAbort



HER beam loss に起因すると思われる、入射に同期しないAbortが多い。
入射器/BT起因と思われる injection同期 abortはLERで時々おこる。

入射に同期したabort



差分	299.96	0.020
最大値		0.515
最小値		0.550
平均値		-0.010
実効値		0.399
面積値		0.459
		0.003

検索設定

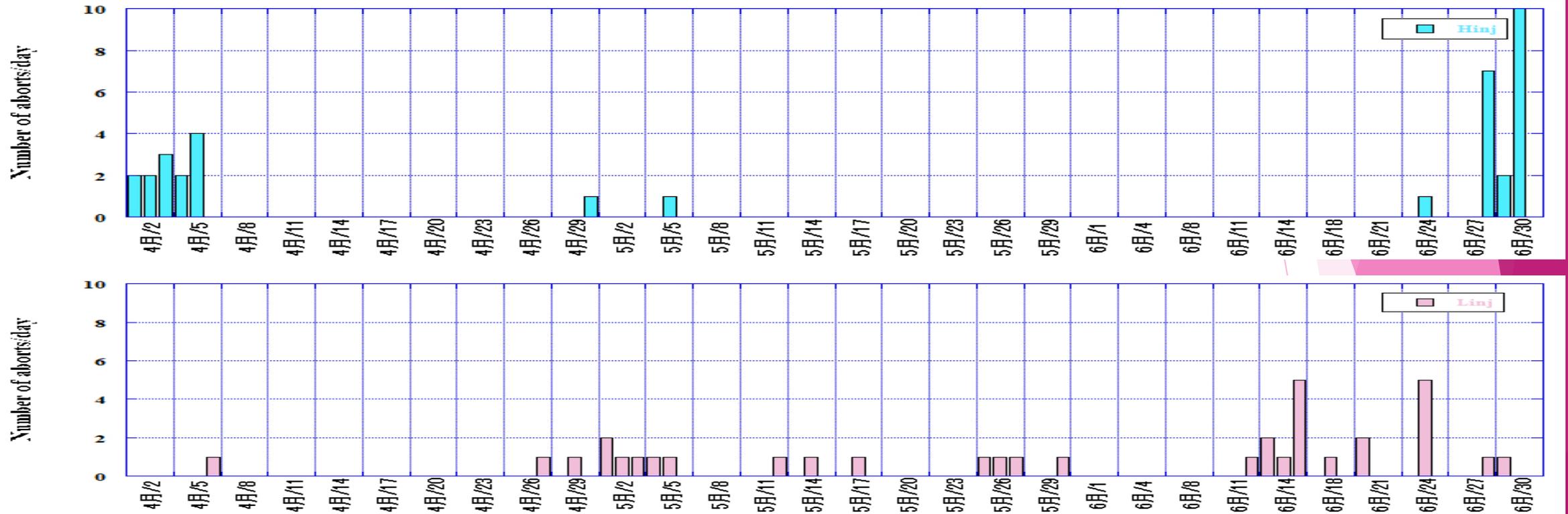
収録時間: 0000:00:00:00
データ数: 300001

検索条件

- レベル
レベルパラメータ
表示No: 01
- トリガ
検索値: []
- 検索時刻
開始時刻: []
- マーカー
[2020] 年 [05] 月 [30] 日 [05] 時 [03] 分 [16] 秒
- アドレス
アドレスパラメータ
アドレス値: []

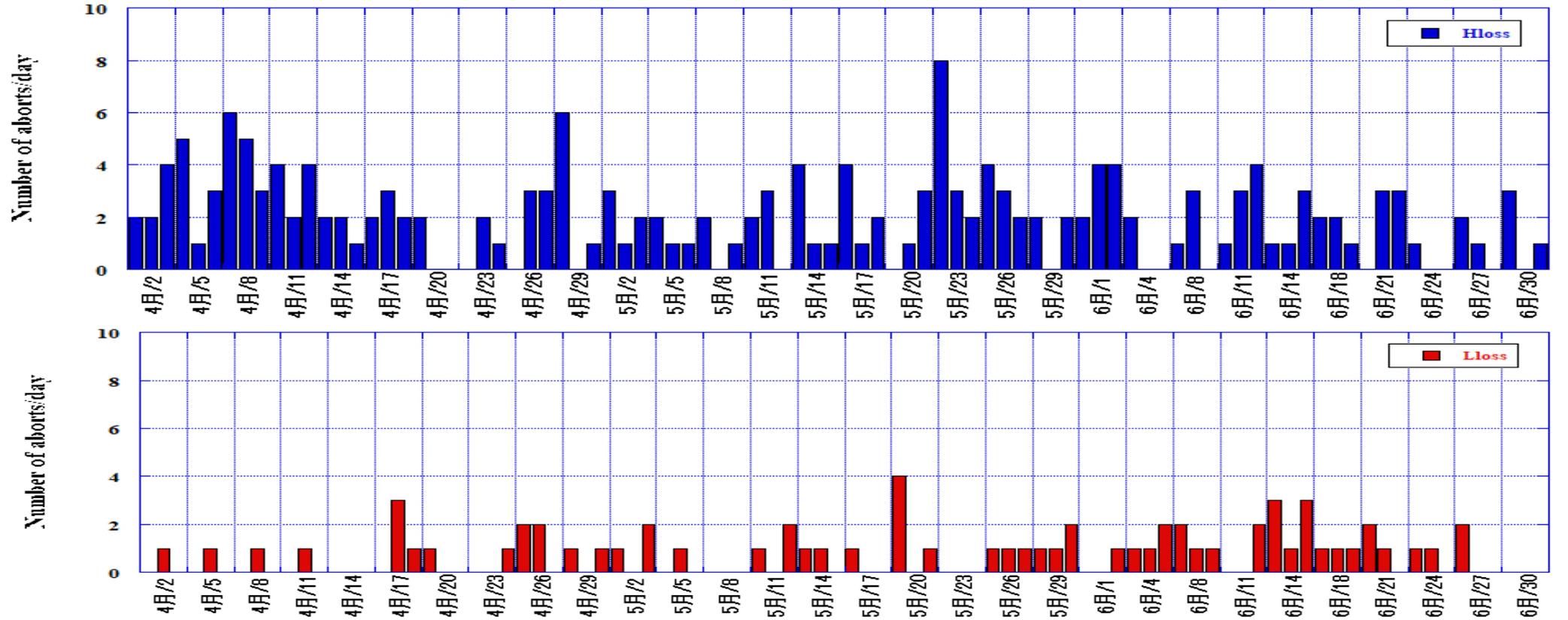
マークON マークOFF

入射に同期したabort



- 入射に同期したアボートは、入射器からメインリングにビームが入射された瞬間のアボート。
- 理由を探すと、入射器のパルスマグネットのトリガー抜けやクライストロンダウン等の入射器側の問題が見つかることが多い。
- リング側の問題だと、入射キッカーの故障が見つかったこともある。

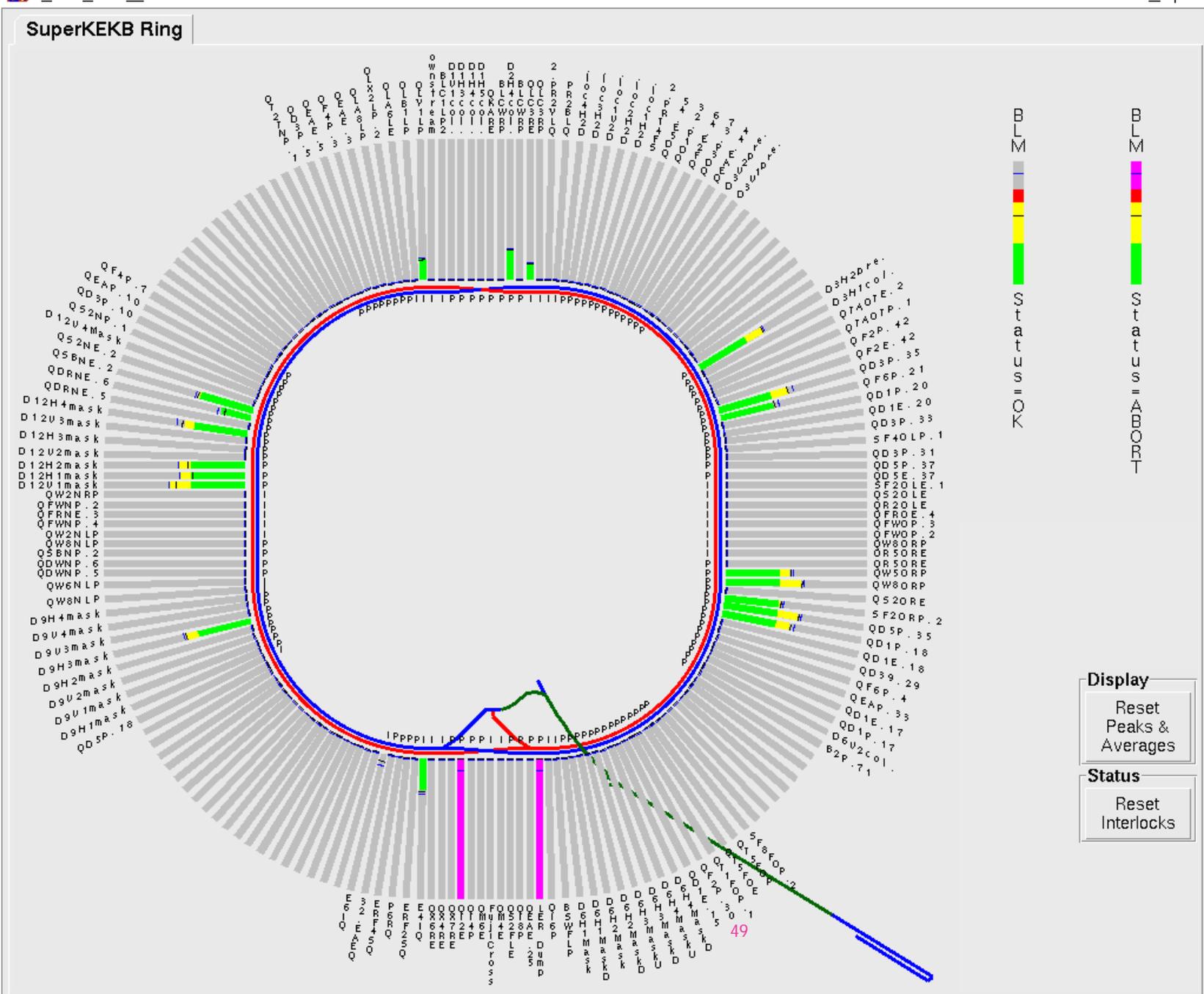
入射に同期しないbeam loss abort

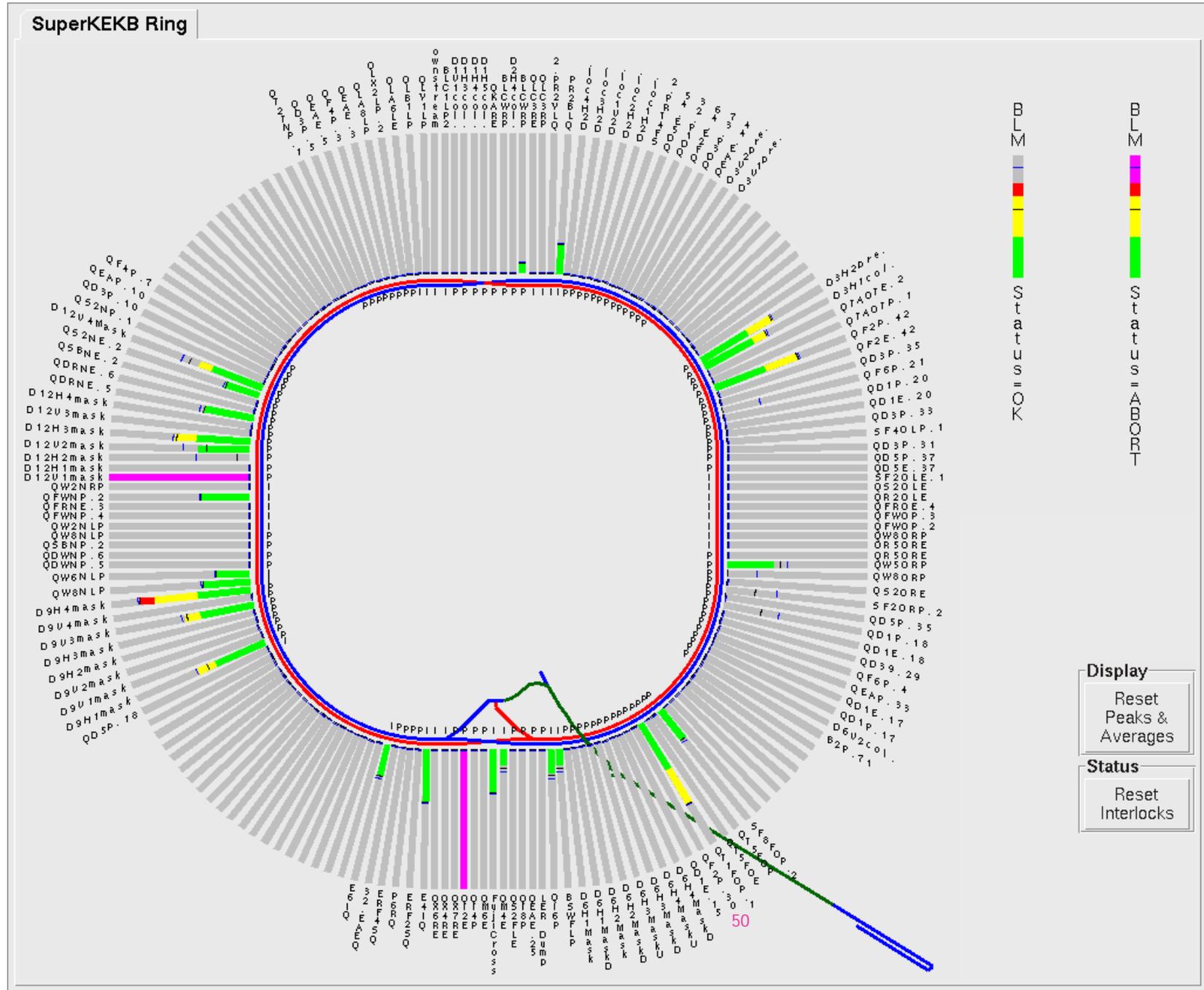


- 入射に同期しておらず、突然のビームロスでアボートされる。
- アボートされると、ビームを積み上げるために運転時間のロスにもつながるため、今後の原因究明が必要。

運転調整

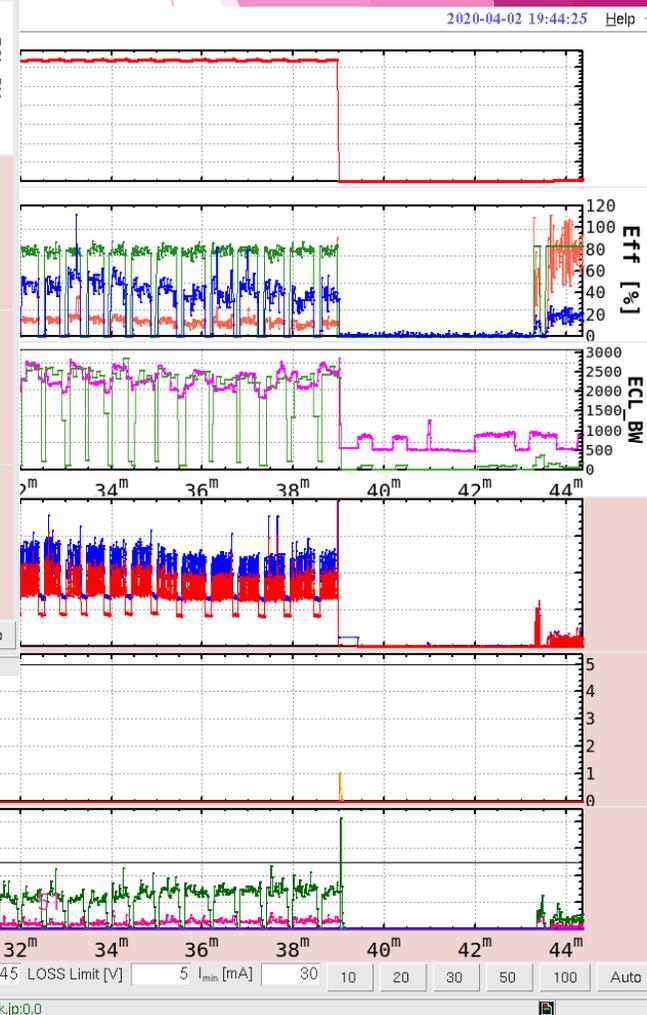
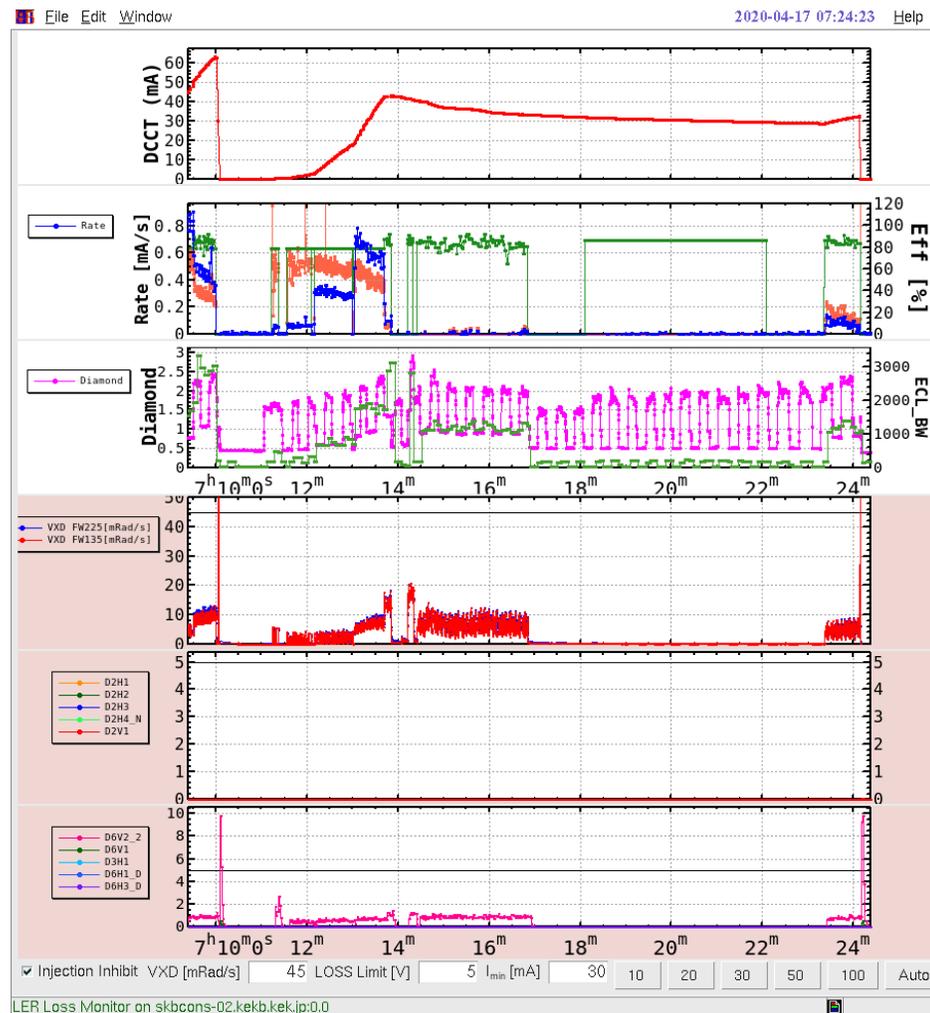
- ロスモニター信号を運転中常時モニターしている (ADC)。
 - Peak, Mean, Min/1s
- 信号を見る事で、どこでロスが起きていることが分かる。
- 入射調整の初めには、どこでロスしたか、どこまでビームが回ったかという事を確認することも出来る。



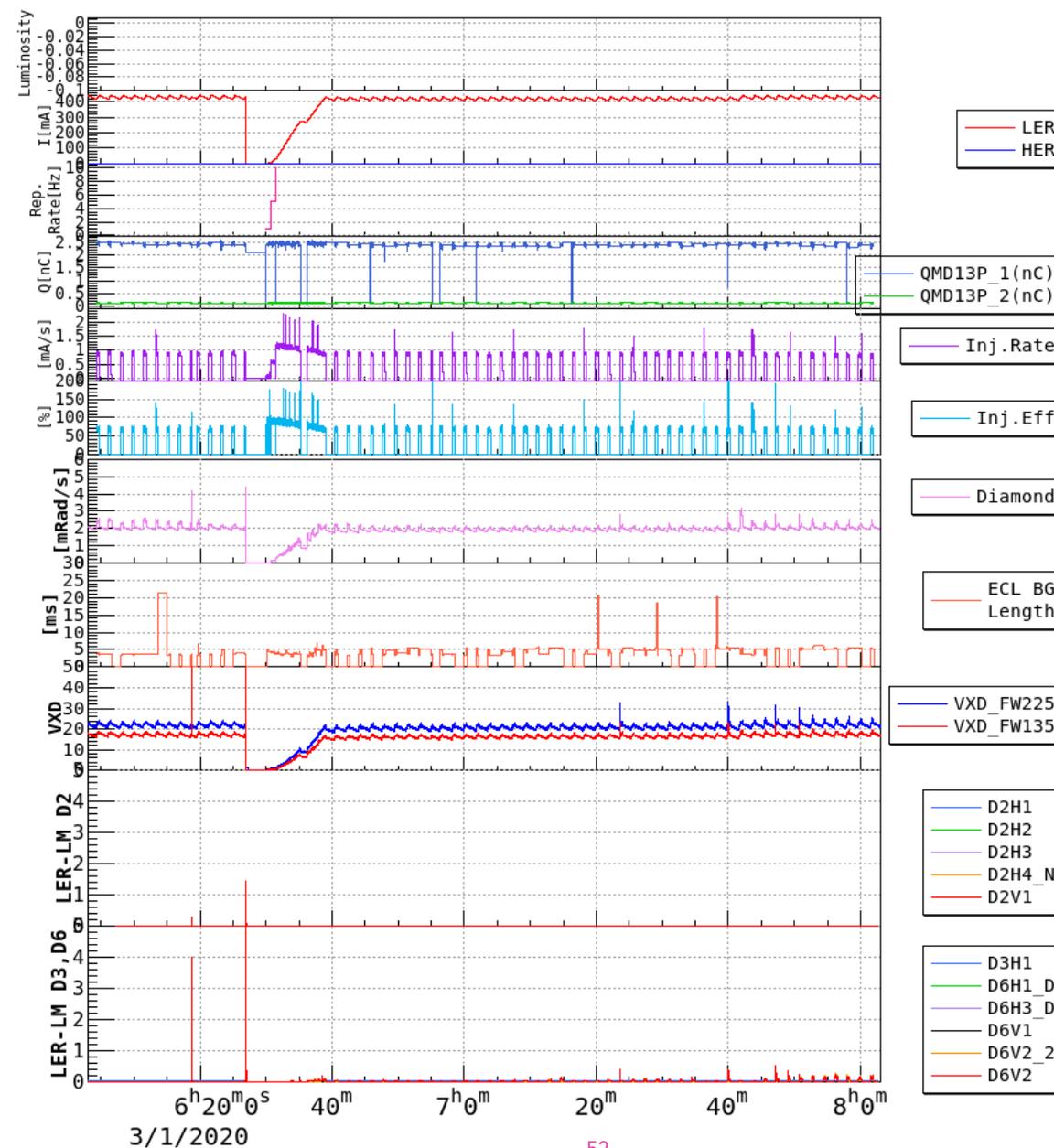


- アボート時には、どのモニターがアボートトリガーを出したかを調べ、運転調整に使用。
 - コリメータ調整 etc.

通常運転中にADCで記録したLM値を常にモニターし、入射パラメータ、衝突パラメータ、コリメータ設定値などの調整を行う。



長時間のロスモニターの値を他のパラメータと比較することで、何をした時に入射がおかしくなったのか？ 検出器へのB.G.が増えたのかを判断できる。

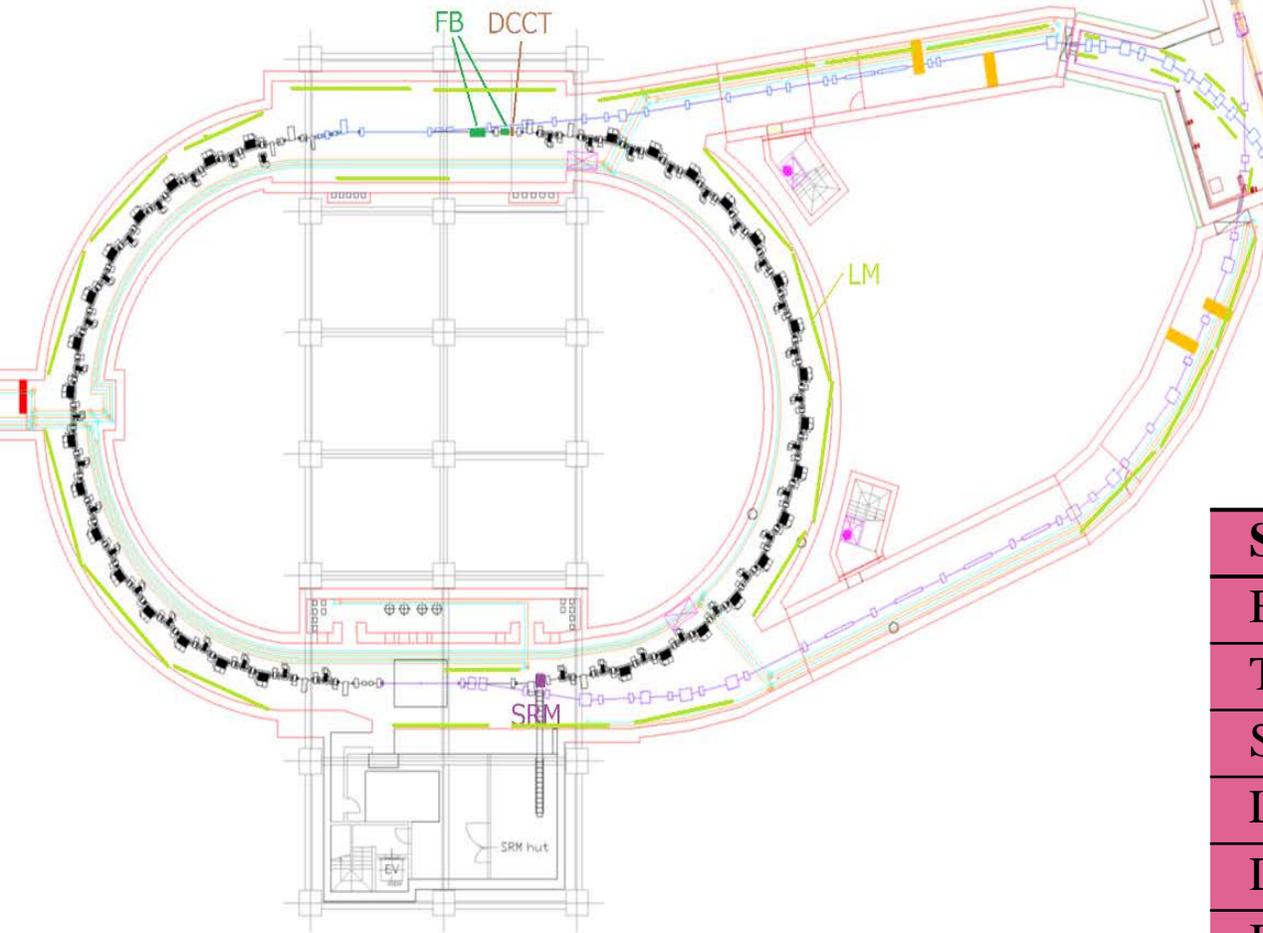


DRのロスモニター

- ▶ 通常運転時のコミッショニング・入射の調整, 異常時の**入射停止信号発報**に使用.
- ▶ 正常時のビームロス:
 - ▶ 2.5% @入射点付近
 - ▶ 2.7% @全周
 - ▶ 20% @コリメータ部
- ▶ センサー :
 - ▶ イオンチェンバー (入射器の物を再利用)
 - ▶ 全周の壁に8.7mのものを設置.
 - ▶ PIN PD, 光ファイバー (バックアップ)
- ▶ 読み出しエレキ : MRと同様の物で, ゲインを上げて使用.
- ▶ 出射機器トラブルにより発報することが何度かあり、放射線モニターと共に機器異常を見つけることに役立つ。



ダンピングリング



Parameter		unit
Energy	1.1	GeV
Maximum bunch charge	8	nC
No. of bunch trains/ bunches per train	2/2	
Circumference	135.5	m
Maximum stored current	70.8	mA
Horizontal damping time	10.9	ms
Bunch length	6.53	mm
Cavity voltage for 1.5 % bucket-height	1.4	MV
RF frequency	509	MHz

主なパラメータ

System	Quantity
Beam position monitor (BPM)	83
Transverse bunch by bunch feedback (FB)	1
Synchrotron radiation monitor (SRM)	1
Loss Monitor	40
DCCT	1
Bunch current monitor	1

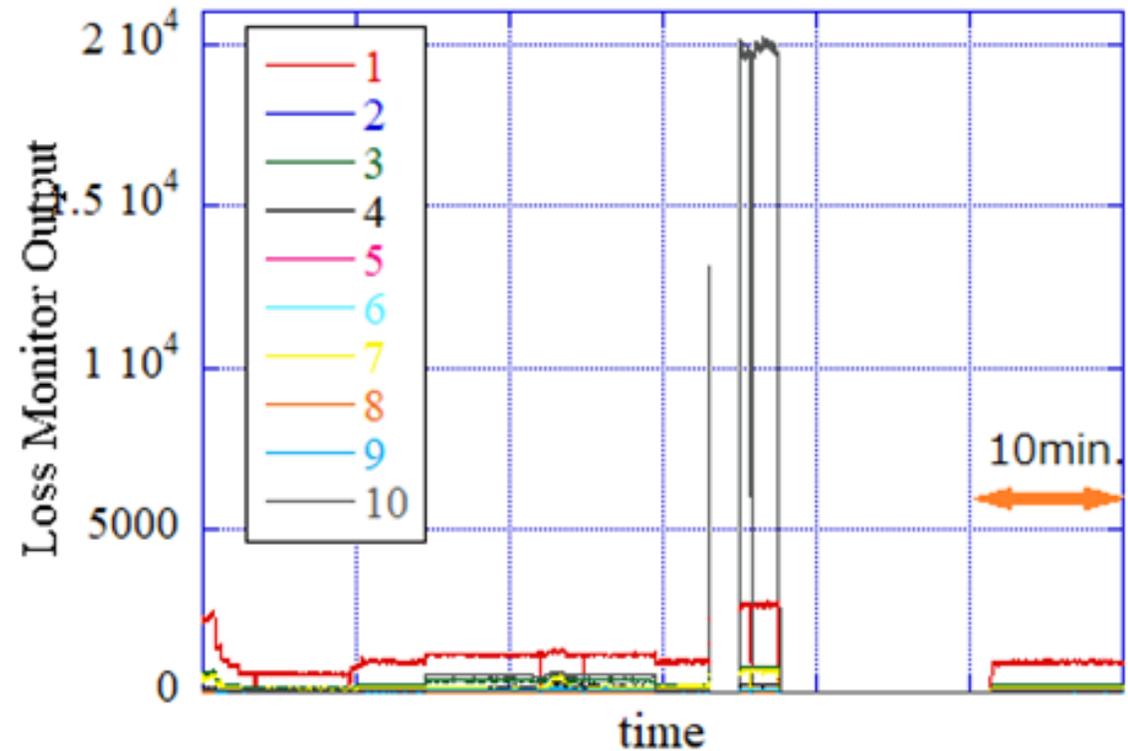
BPM : 電源棟内4カ所のケーブル穴横で読み出し.
SRM:地下ハットで測定.

ダンピングリングのモニター



DR LM:SRM室での放射線モニター発報

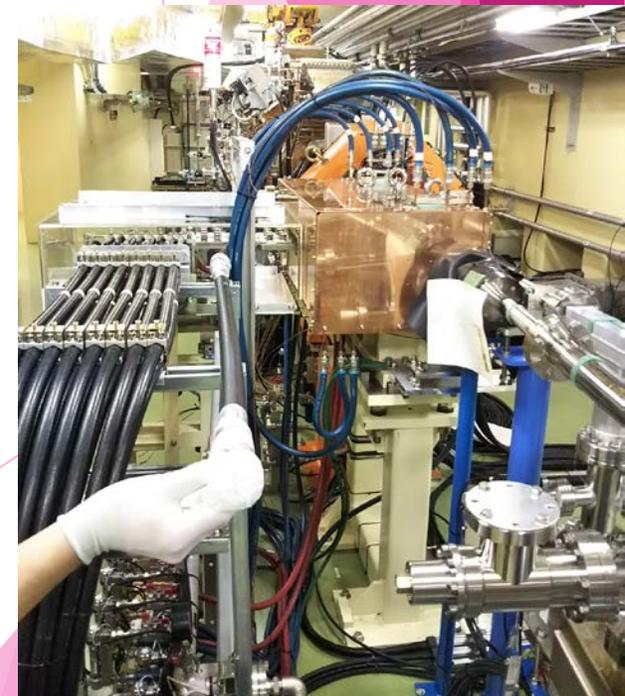
- ▶ DR立ち上げ時にDR SRM室で放射線レンジモニターが発報する事例があった。
 - ▶ 出射セプタムのHVがオフの状態、高バンチ電流25Hz入出射を行っていたため、出射部近くのSRM室で放射線レベルが上昇。
 - ▶ 測定値は中性子15 μ Sv/h, γ 線12 μ Sv/hが数分（放射線管理区域としては問題なし）。
 - ▶ セプタム横のLM信号は通常の20倍以上の値を出していたが、1/Lレベルよりも低かったため、6分間運転が続いていた。
 - ▶ その後もセプタムへのトリガー抜け等が原因で、出射部付近のビームロスが大きくなることがあった。



▶ 対策

- ▶ オレンジモニター発報時のロスモニター値が3V程度だったので、I/Lレベルを10V→2Vに変更。
- ▶ オレンジモニターの値をCCRでも読める様にし、常に監視。
- ▶ 20 μ Sv/hが1hour続くと入射stop.
- ▶ 入出射キッカーPS Faultが出た時に入射stop.
- ▶ セプタムの電圧を見て、一定以上にならないとGate openしない様にした。

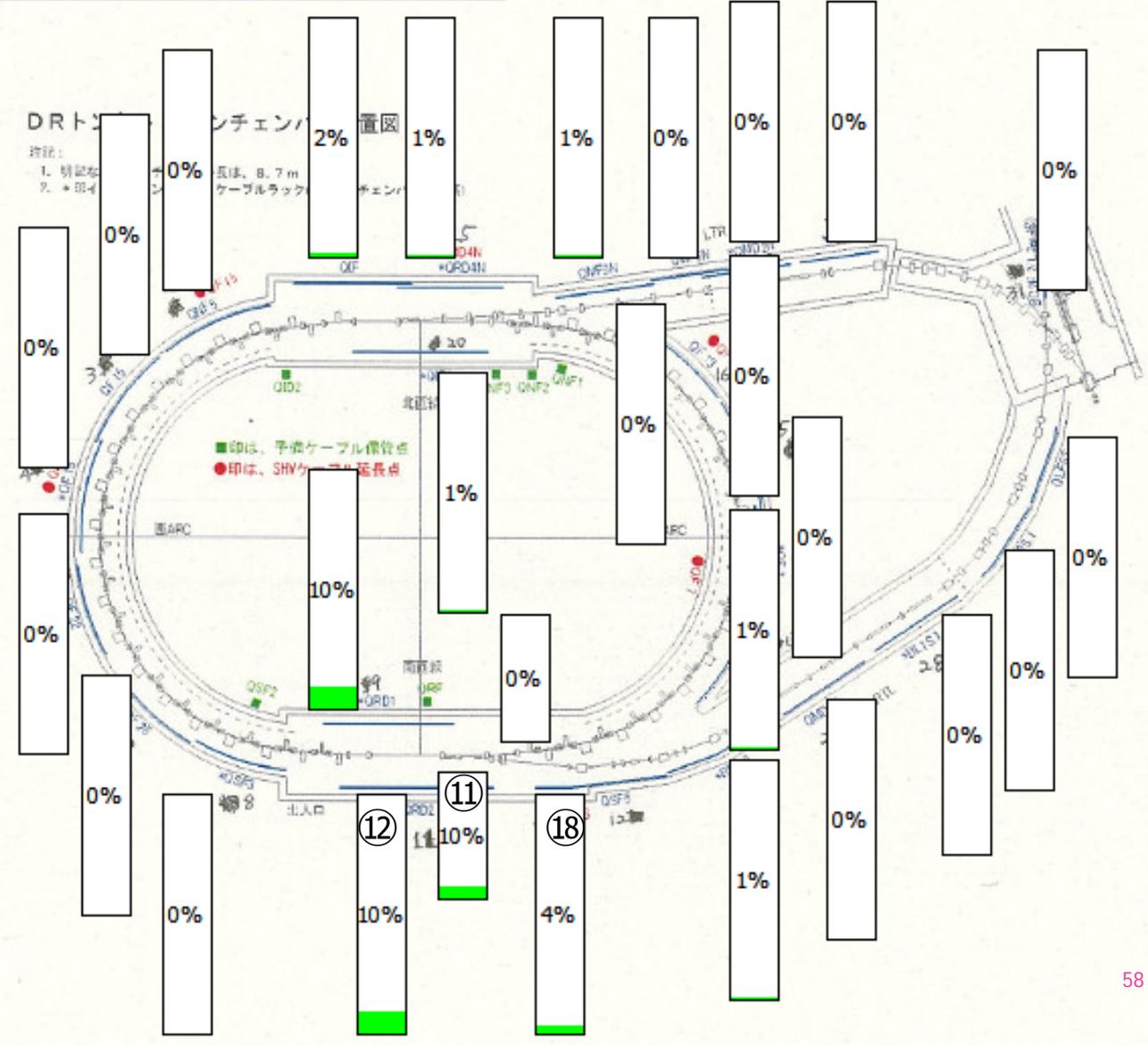
- ▶ ロスモニター (LM) のI/Lレベルを10V→2Vに変更後、スクリーンモニター (SC2) を入れると1発目でI/Lレベルに達し、入射できなくなる。
 - ▶ この時発報するLMのI/Lレベルを上げるために、バックアップとして、セプタムの両側に1.2mのイオンチェンバーLMを追加。



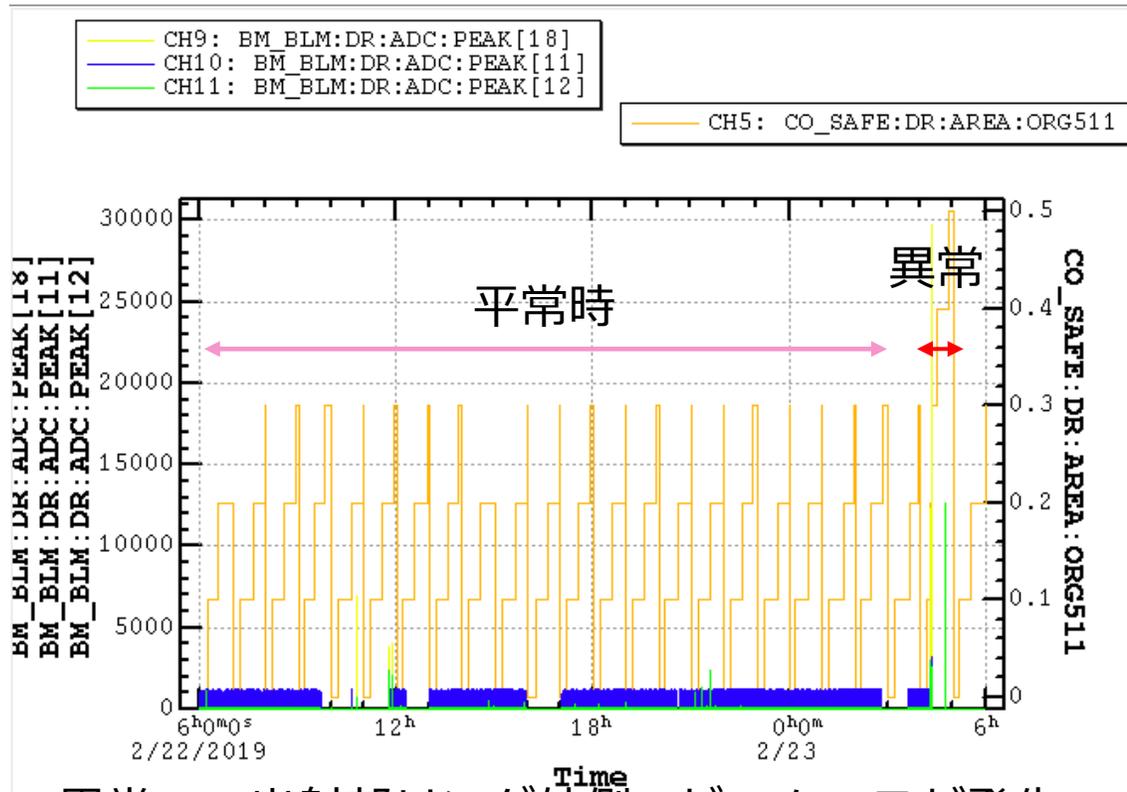
MaxSet

500
 1000
 2000
 5000
 10000
 MAX

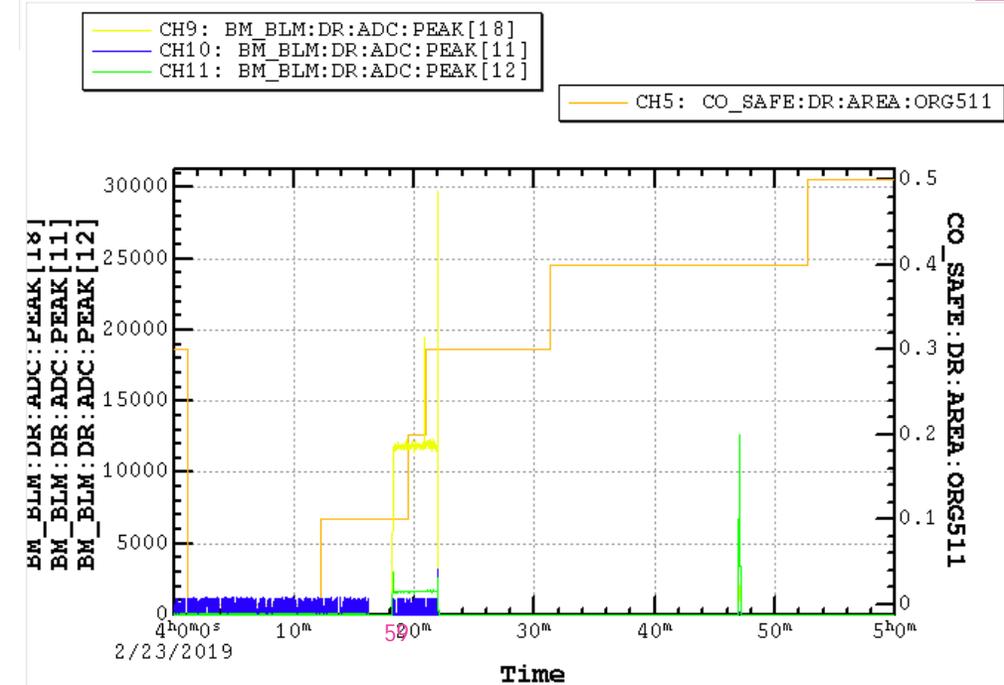
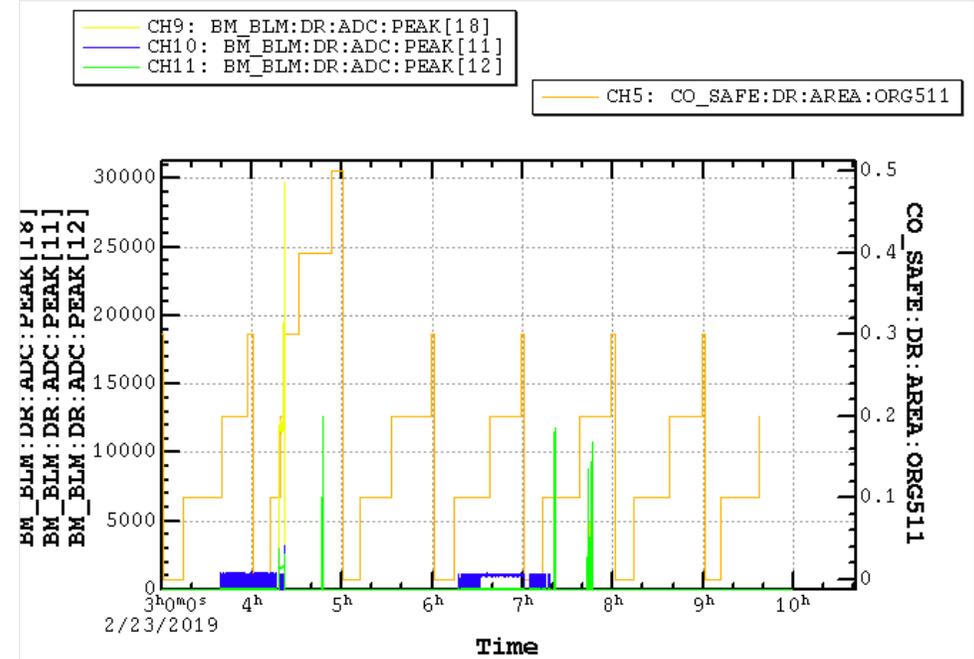
Remote



DR SRM室 ORG511信号とLM信号



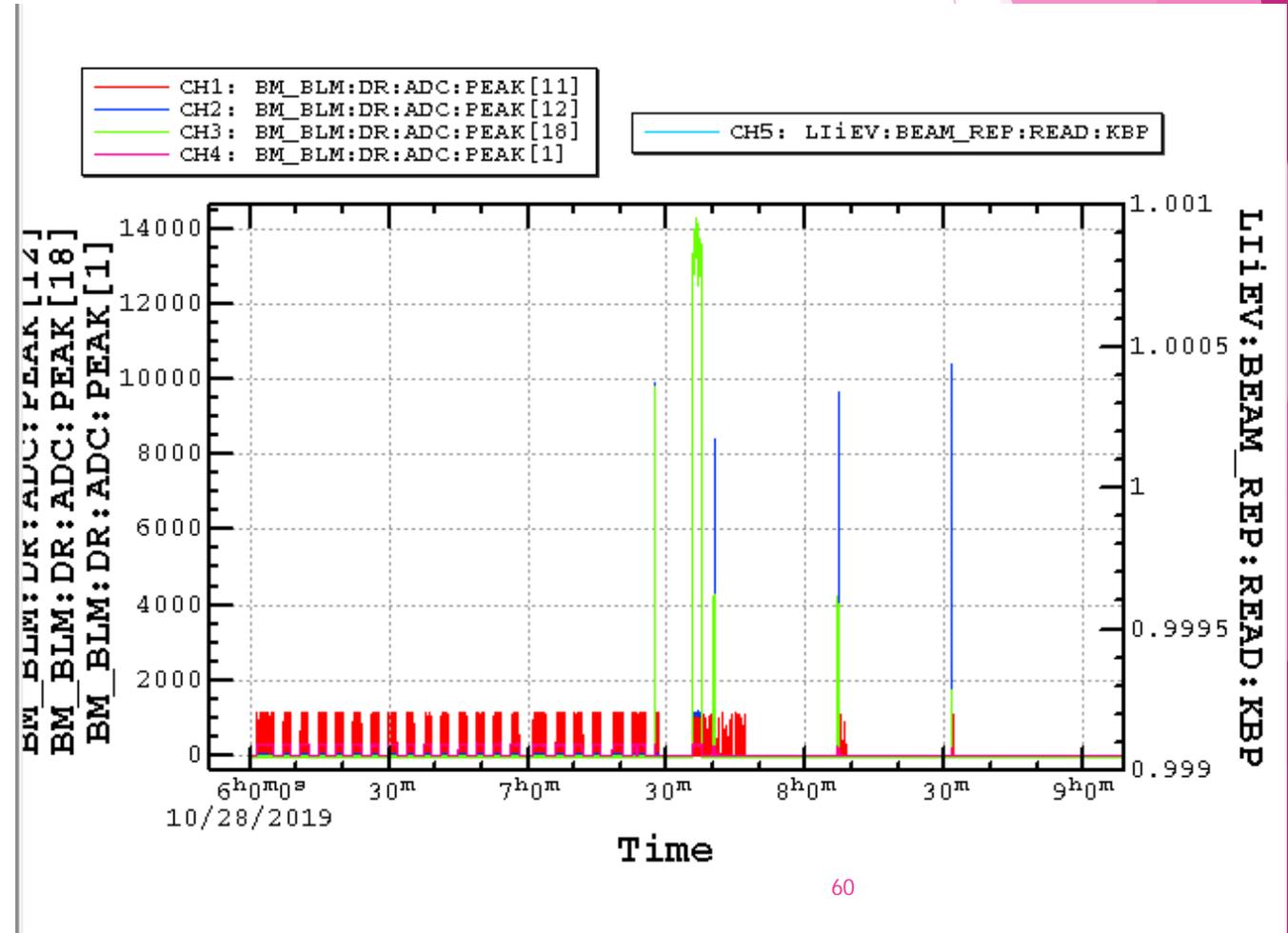
拡大



Septum異常で、出射部リング外側でビームロスが発生。
 当初、ビームロスはお/L levelが緩いRTL側 (LM⑱) で起こっており、
 しばらく入射stopしなかったため、SRM室でも放射線レベルが通常より
 上昇 (0.3→0.5)。
 その後、繰り返しを下げて再度入射した時には、(電源電圧に変動
 orセプタム調整のせいかな?) ビームロスはお/L levelの厳しい上流
 (LM⑫) でも上昇したため、すぐに入射stopに至った。
 すぐにstopしたため、SRM室での放射線レベルは上がっていない。

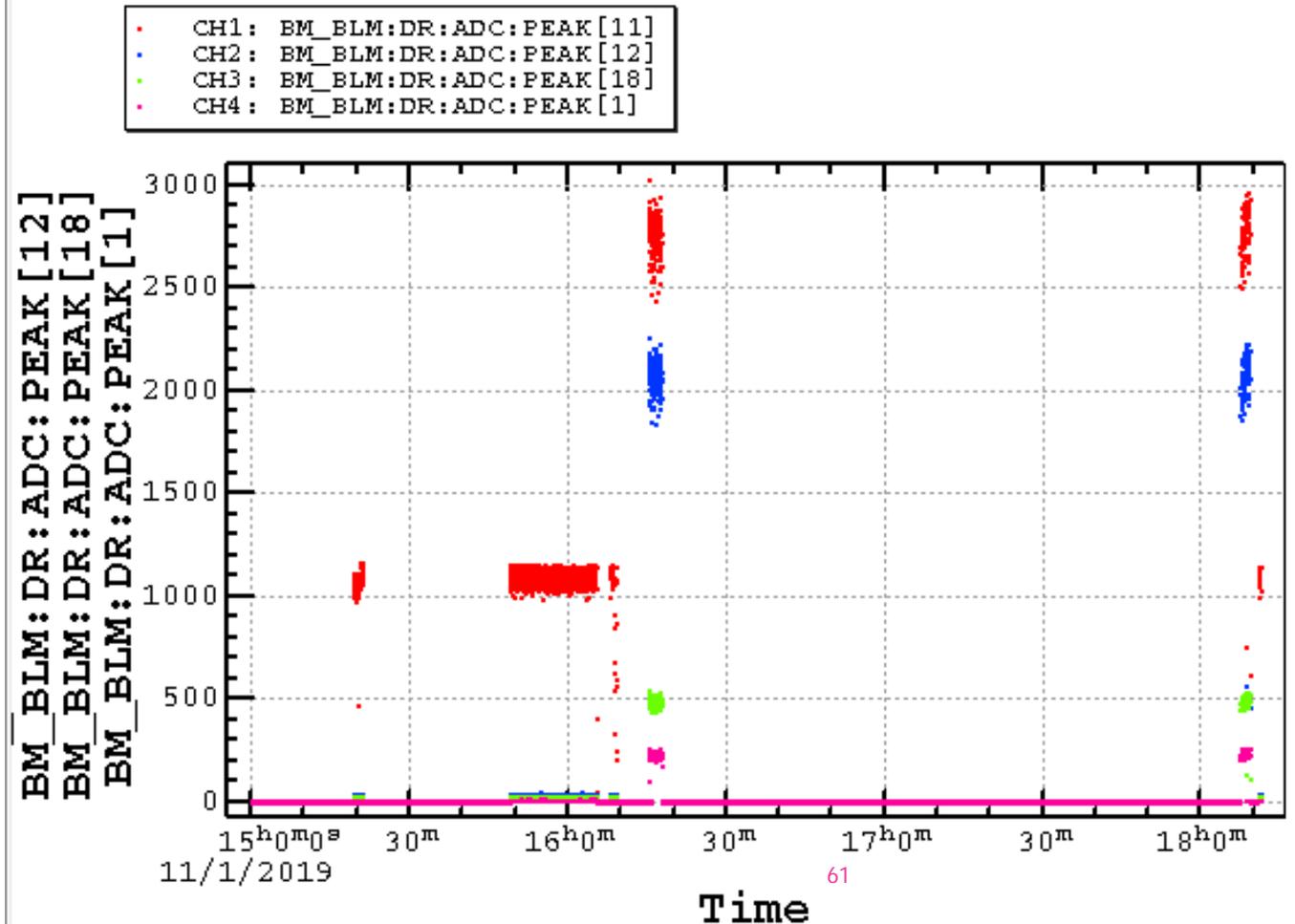
Septum 電源異常 (2019/10/28 ~7:00)

⑬は1/L閾値が高いため、発報せず、
⑫が鳴り始めてから入射stopが続いた。



Septumのトリガー異常があった場合

- ▶ キッカーにトリガーが行っているが、セプタムに行っていない場合。
- ▶ ⑫⑱とも普段よりは高いレベルだが、電源異常時ほどではない。
- ▶ セプタム直下流の⑪で信号レベルが高い。



まとめ

- ▶ ビームロスモニターは、不安定なビームから人やハードウェアを守るために必要なモニターで、それぞれの加速器に応じてビームロスから起こる2次シャワーを検出するセンサーを選択して使用している。
- ▶ トンネル内に多数設置することで、どこでロスが起きたかを見分けることができるので、定性的に加速器の安定性を監視する役割を果たす。
- ▶ 特に電流値の高い加速器では重要なモニターである。
- ▶ 同時に、正しい衝突状態、入射状態にビームを調整するためにも使用される。