

# 1mA CW運転・ビームロス

2016/05/31 cERL ミニワークショップ  
帯名、坂中、本田(洋)、松村、山本(将)

# 目次

- ロス測定ツール
  - リアルタイム測定（エリアモニタ、ロスモニタ等）
  - オフライン測定（カメラフィルム、金箔）
- ロス低減調整
- CW運転時の放射線サーベイまとめ
  - 手動測定
  - ALOKA測定
- 調整例
- まとめ
- ビーム電流と真空度の相関について（坂中、山本）

# ロス測定ツール

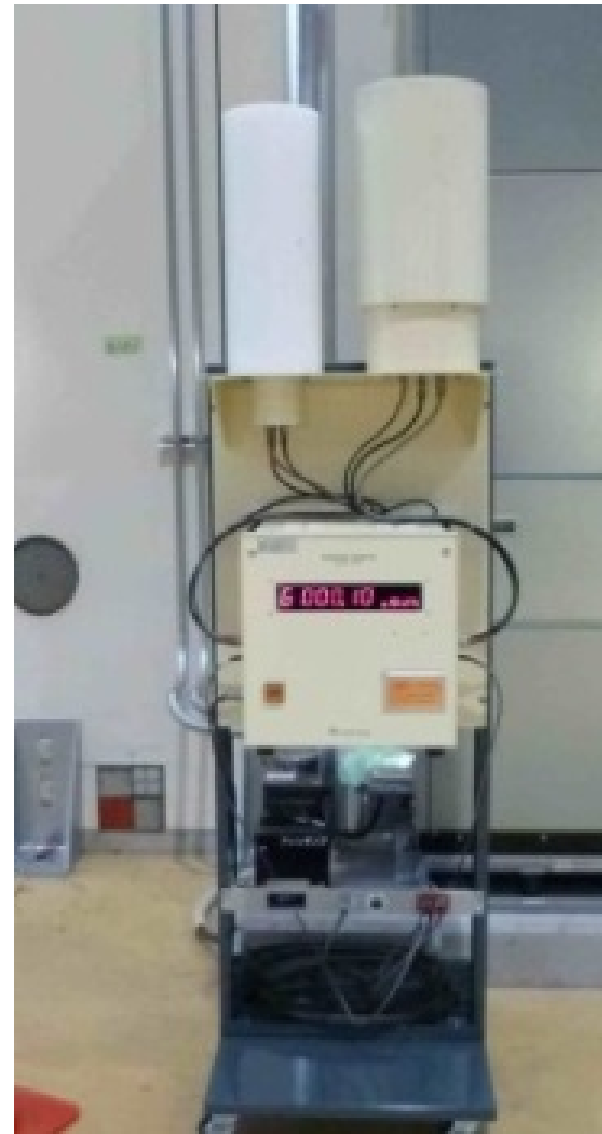
- 測定手法と測定例
    - エリアモニタ (ALOKA、FLUKE)
    - ロスモニタ
      - 大型PMT [interlock/診断用]
      - 小型PMT [診断用]
      - 光ファイバ
    - 可搬型サーベイメータ (カウンタ)
    - カメラフィルム (チェキ)
    - 金箔
    - 運転終了後の真空チャンバー残留放射線測定
  - その他
    - CW運転時の真空圧力、温度
      - コリメータ位置 vs vacuum
      - 電流 vs vacuum
- リアルタイム測定
- オフライン測定

# Area Monitor

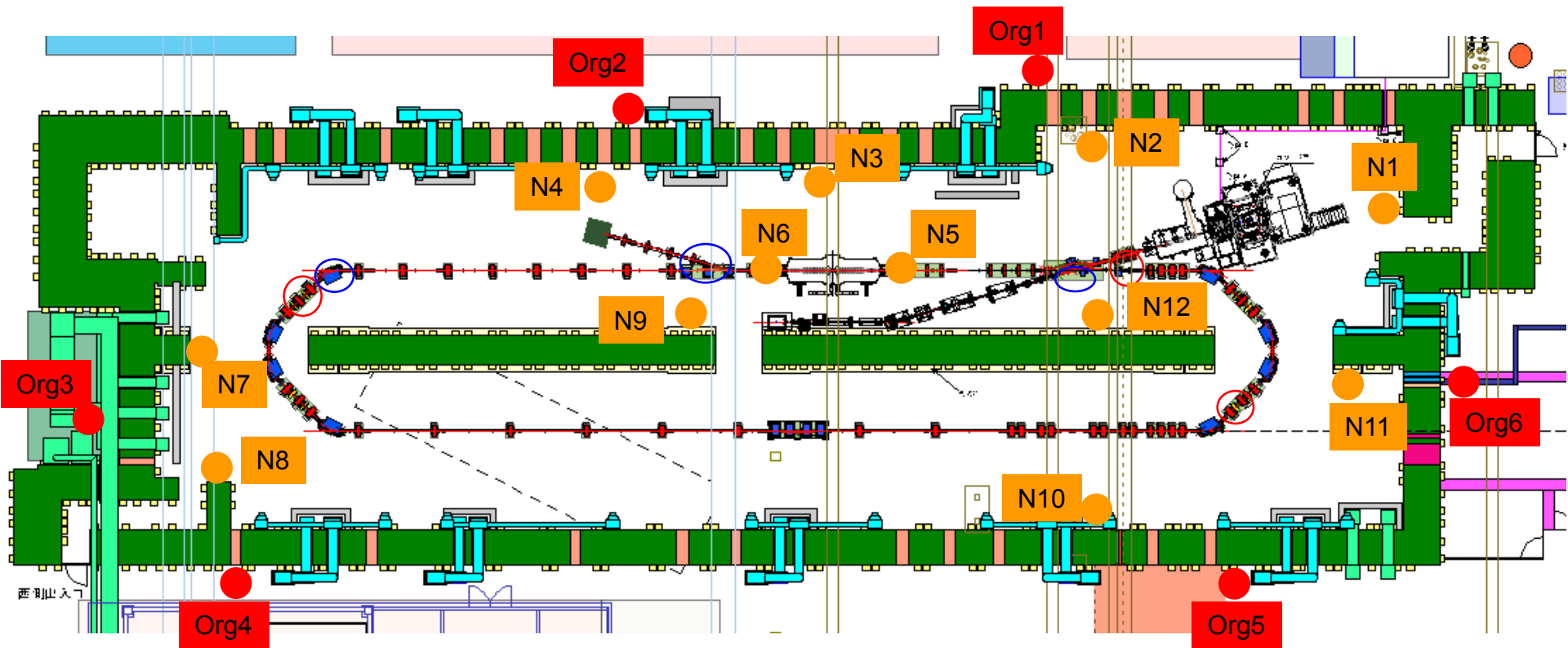
ALOKA MAR-782



Orange Monitor



# Location of Area Monitors

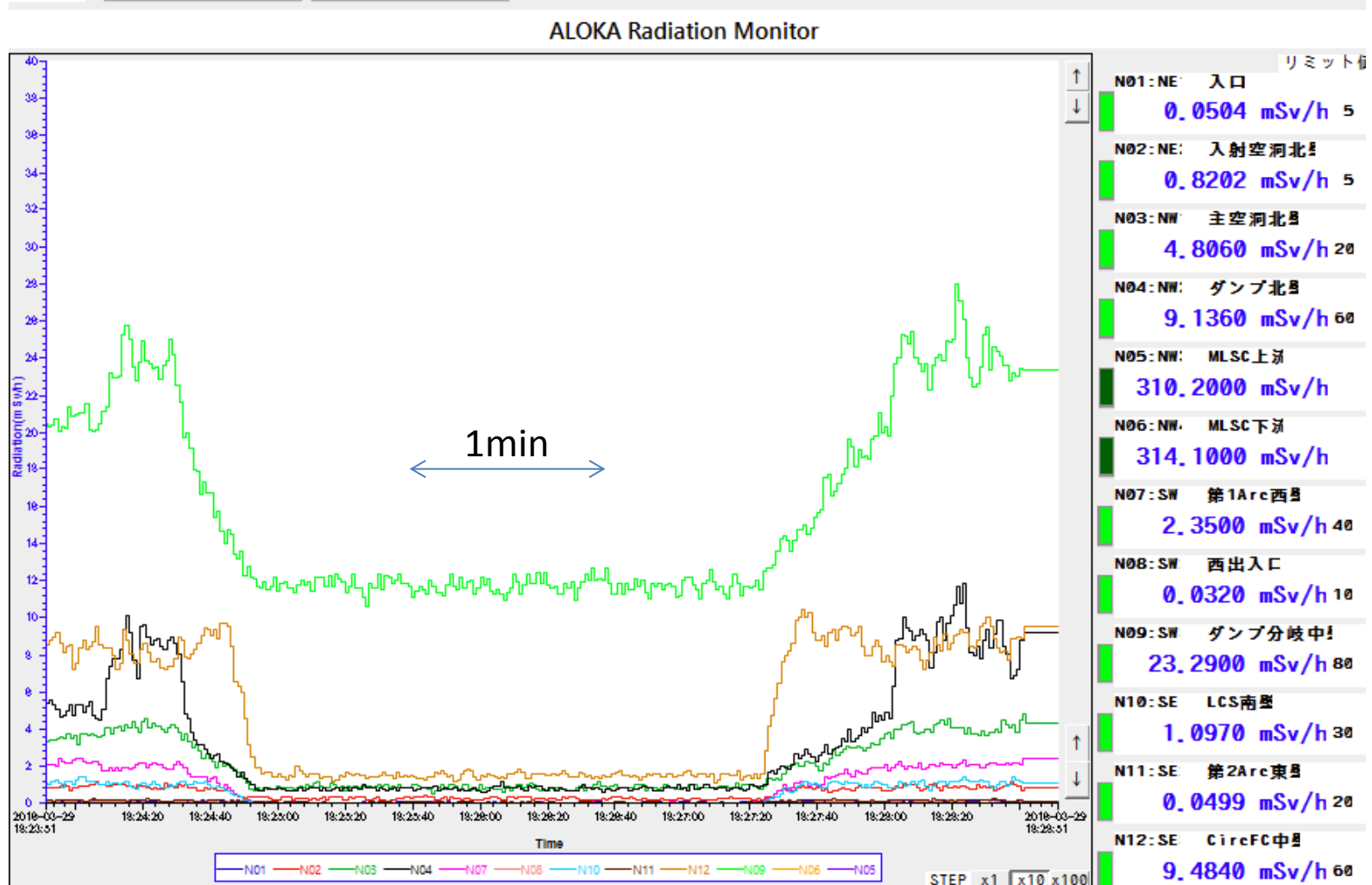


- Orange Monitor (6 units) : 放射線科学センター管理
- ALOKA (12 units) : 加速器調整に使用

cERL建物外(敷地境界)に Yellow Monitor もある

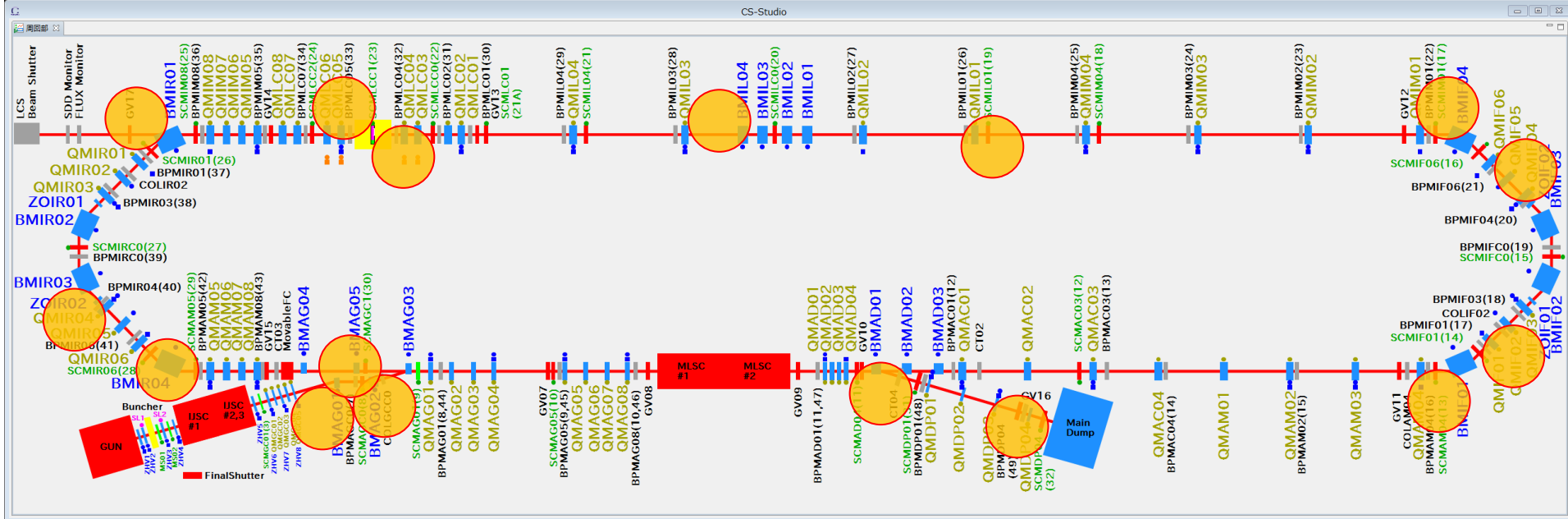
# ALOKA 測定例

- CW運転中にLaser ON/OFF した例（2016/02/29 162 MHz LCS実験中の測定）
  - 差はビーム由来の損失
  - No5, No6 の数値が高いのは空洞FEが原因であり、電子銃からのビーム由来ではない

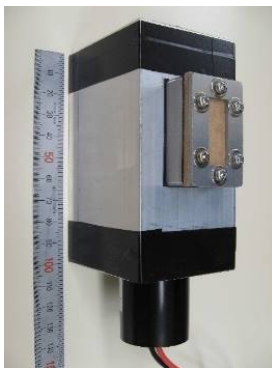


# インターロック用ロスモニタ

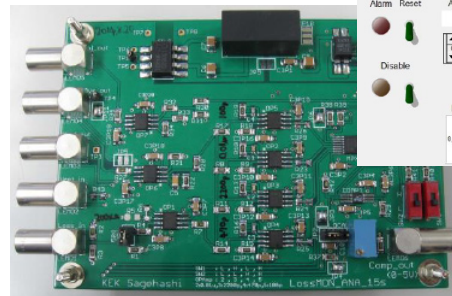
- 合計16台：CW大電流運転に向けて数を増やした
- 診断・ビーム調整にも使用している。



Detector  
Pure CsI  
+ PMT  
preAmp



Detector



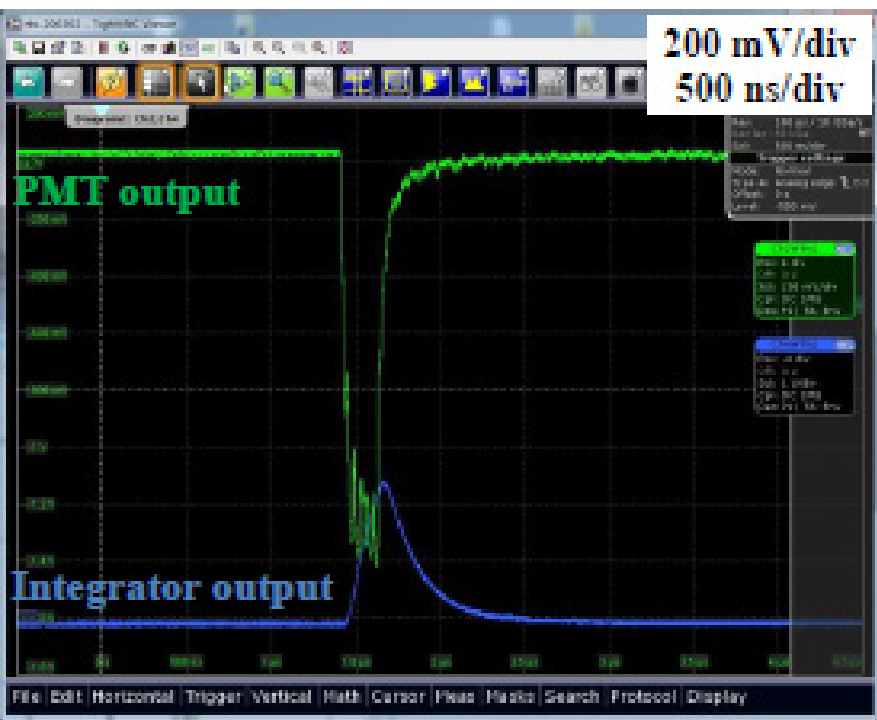
Integrator Circuit / GUI



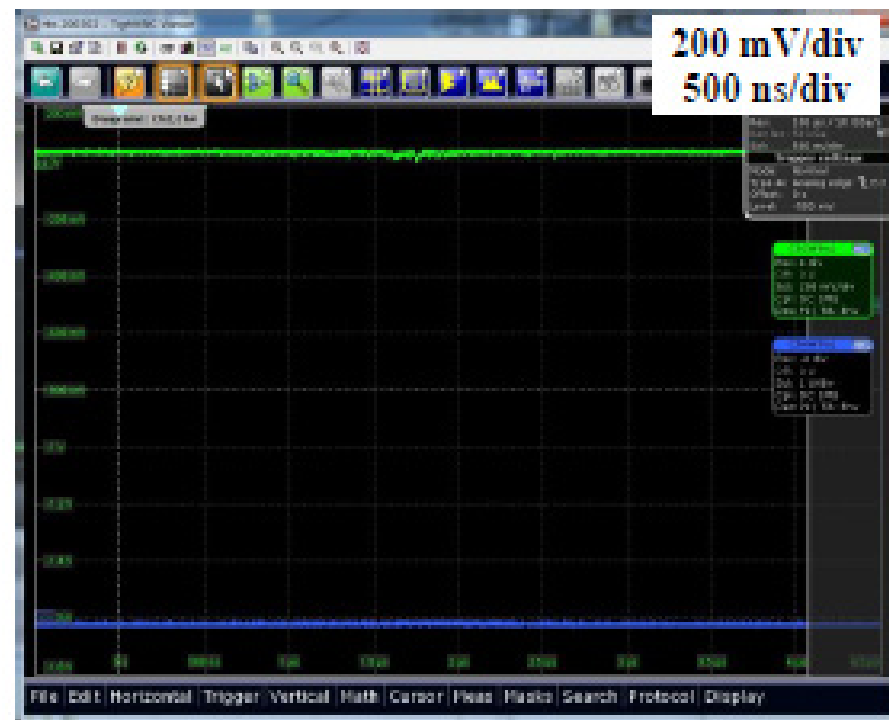
Fast Interlock System

# 測定例: 1 $\mu$ s バースト運転時

- 初期のオプティクス調整前後でのロスの差



Before optics matching



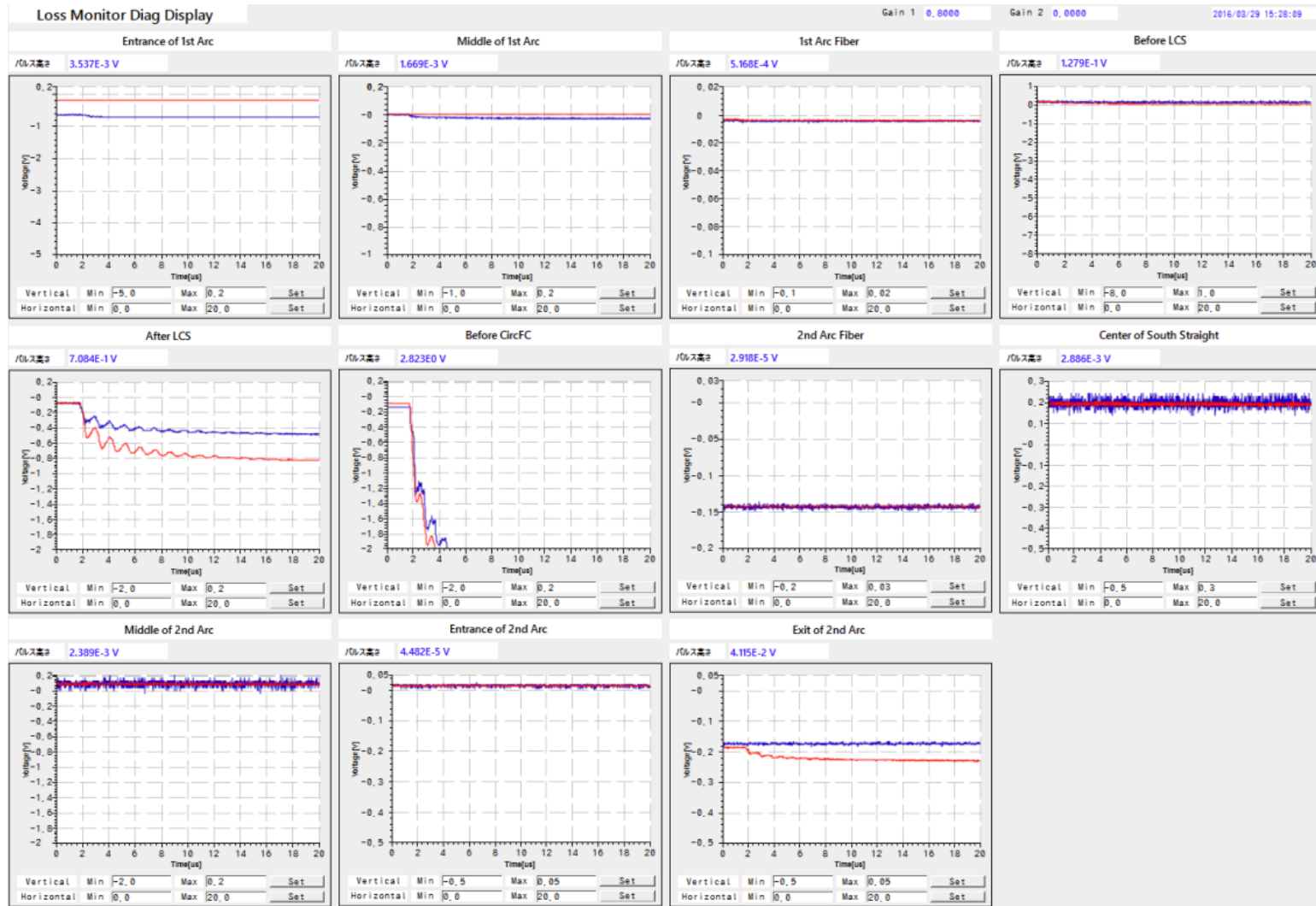
After optics matching



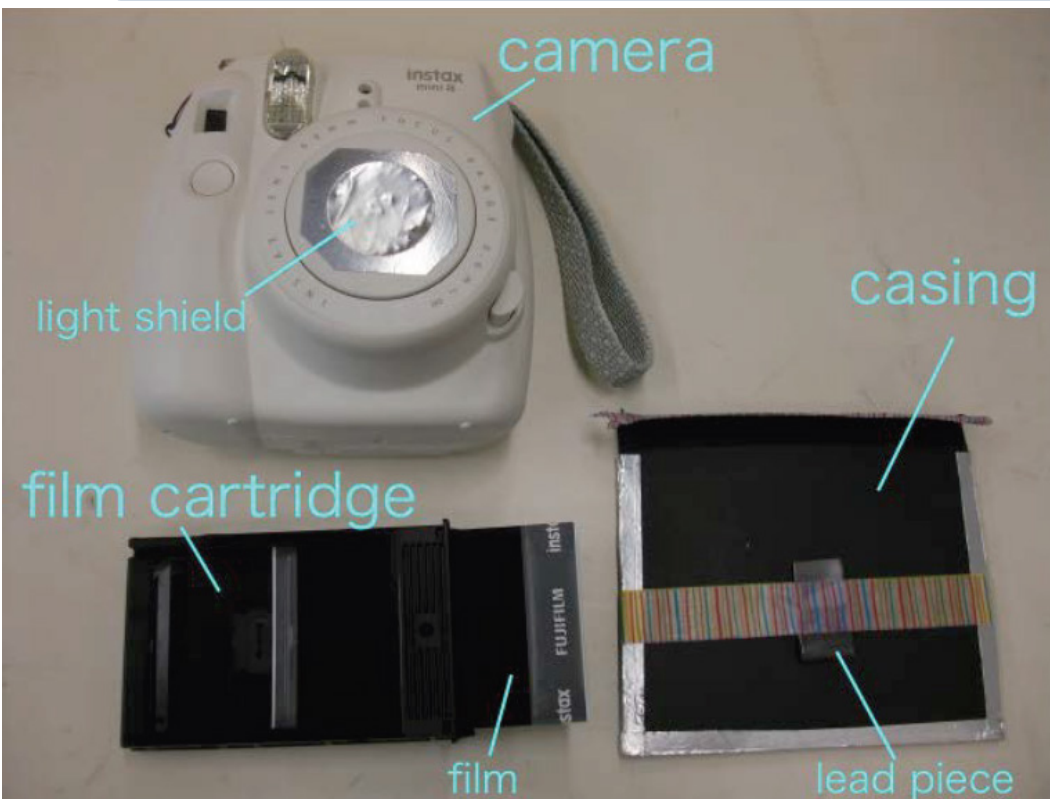


# 診断用PMT測定例

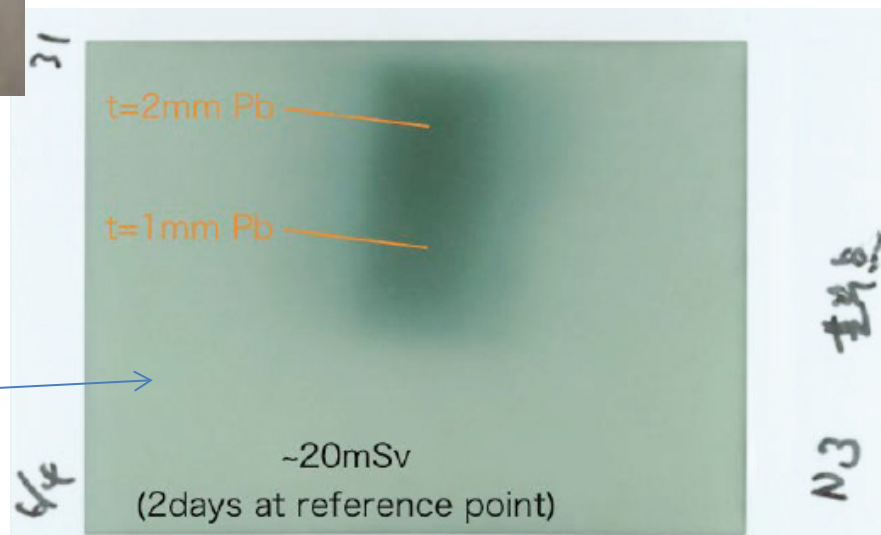
- CircFC, AfterLCSでロス大きい例
  - LCSのIP調整後。あまり時間がなく、周回部FCの手前でロスが大きい。このままCW運転に入ると、CircFC中壁でのALOKAモニター値が上昇する。



# カメラフィルム（チェキ）による測定



“White” : High radiation dose



# 分布測定例 1

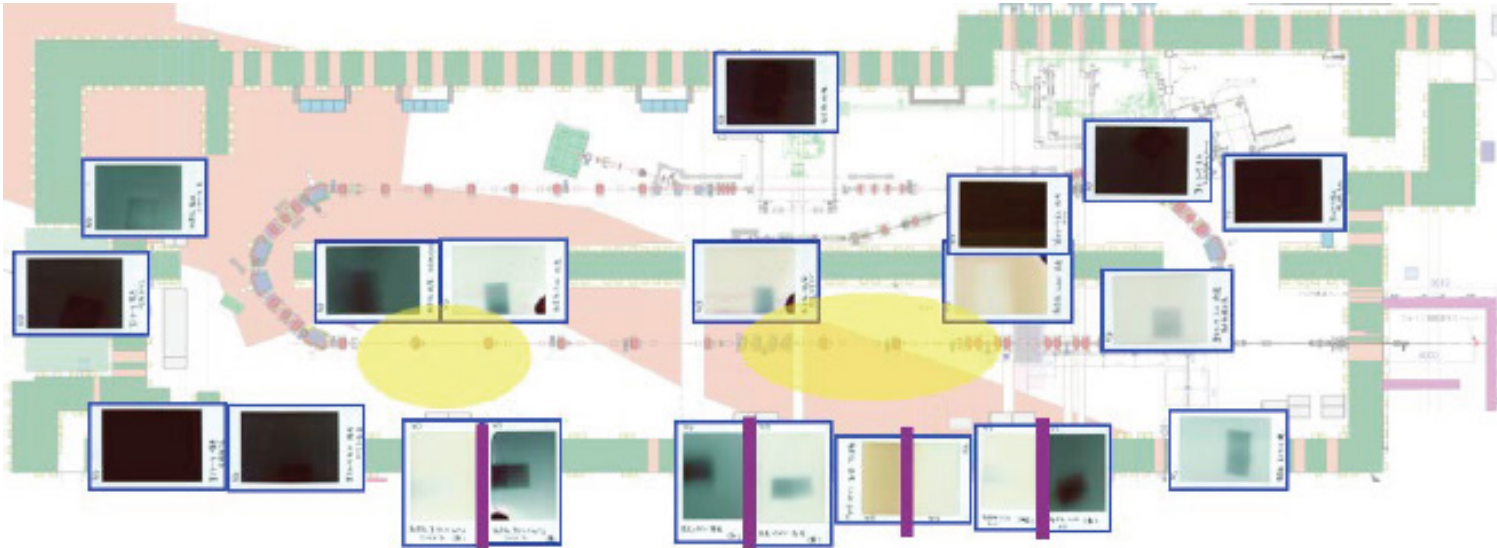


Figure 4: Result on 3rd April.

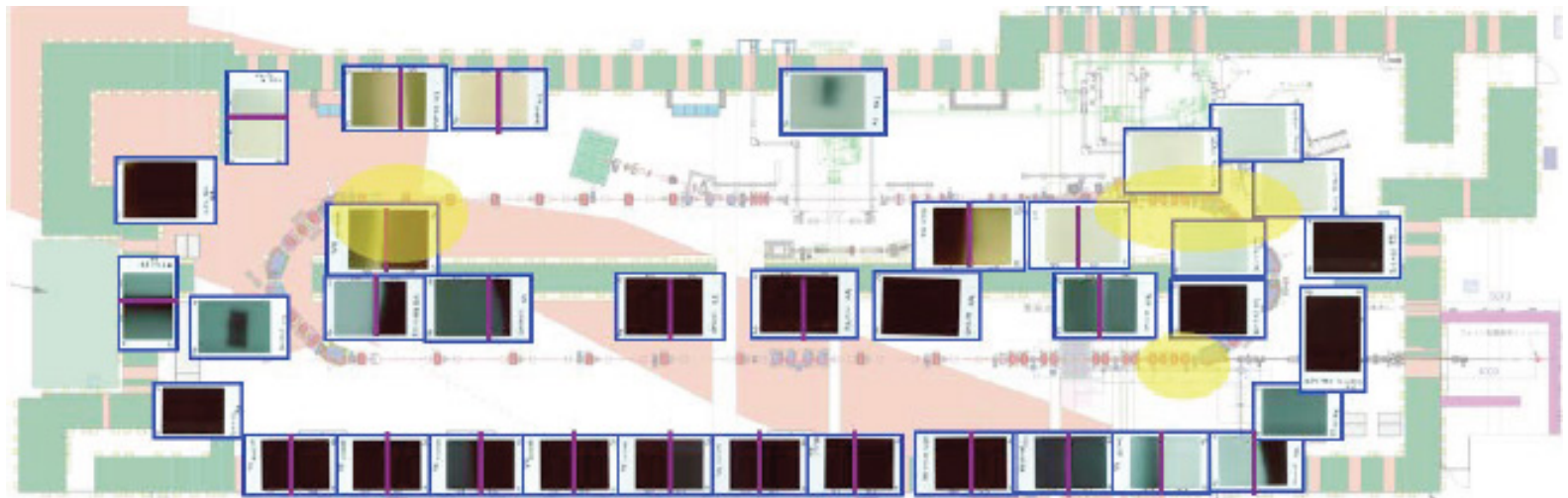


Figure 5: Result on 2nd~3rd Jun.

# 続き

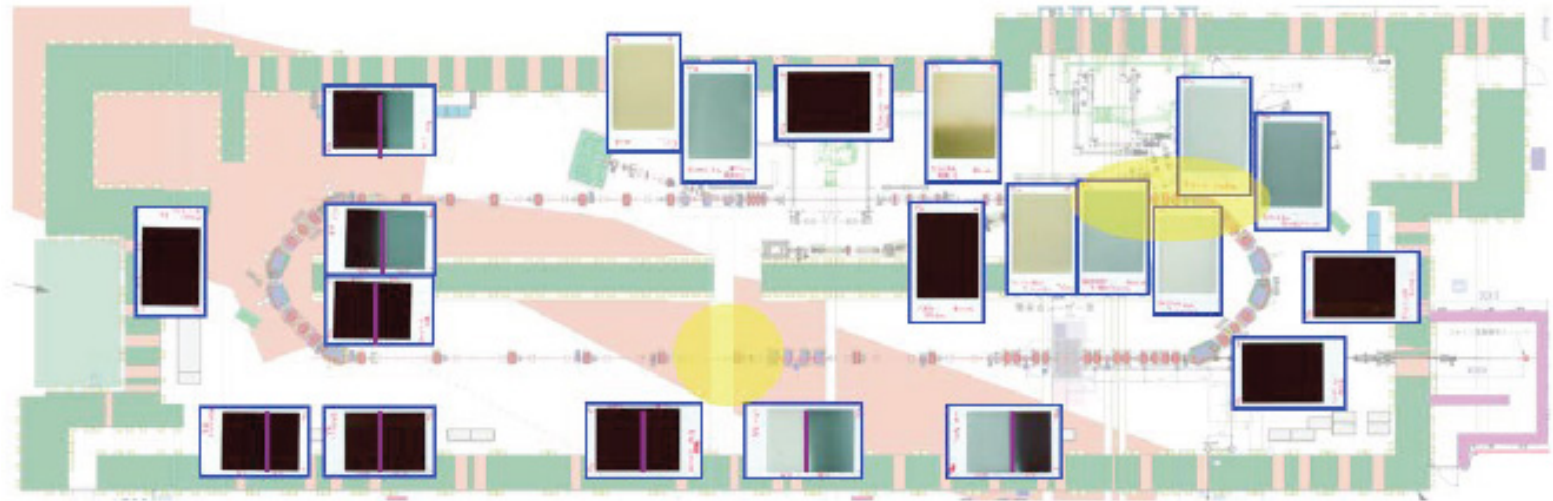


Figure 6: Result on 24th Jun.

詳細は加速器学会2015

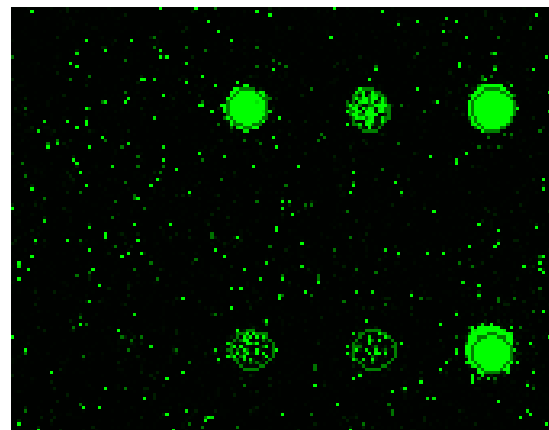
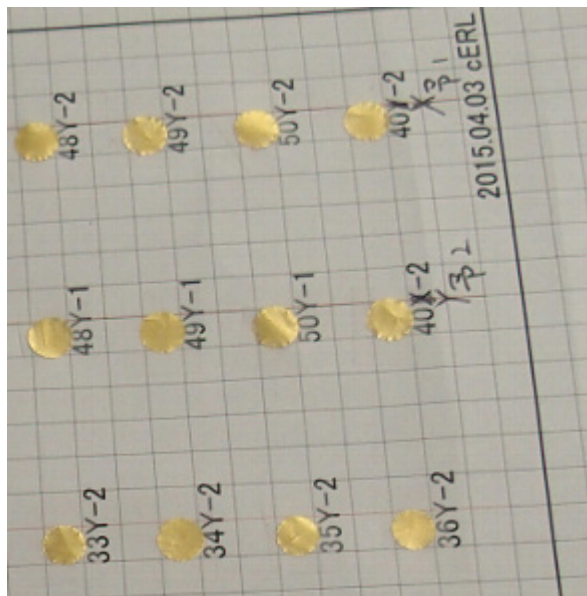
THP087(p.1231)

本田洋介:cERLビーム運転時の放射線分布の簡易測定

# 金箔による測定

- 詳細はIPAC2016, 松村さんのpaper(Beam Loss Estimation by Measurement of Secondarily Produced Photons under High Average-current Operations of Compact ERL in KEK) 参照
- 金箔を真空チャンバーやマグネット等に貼り、運転後に回収。イメージングプレートで残留放射線を測定
- 高感度、校正済みデータが得られるのが利点

example



# 金箔測定の実例

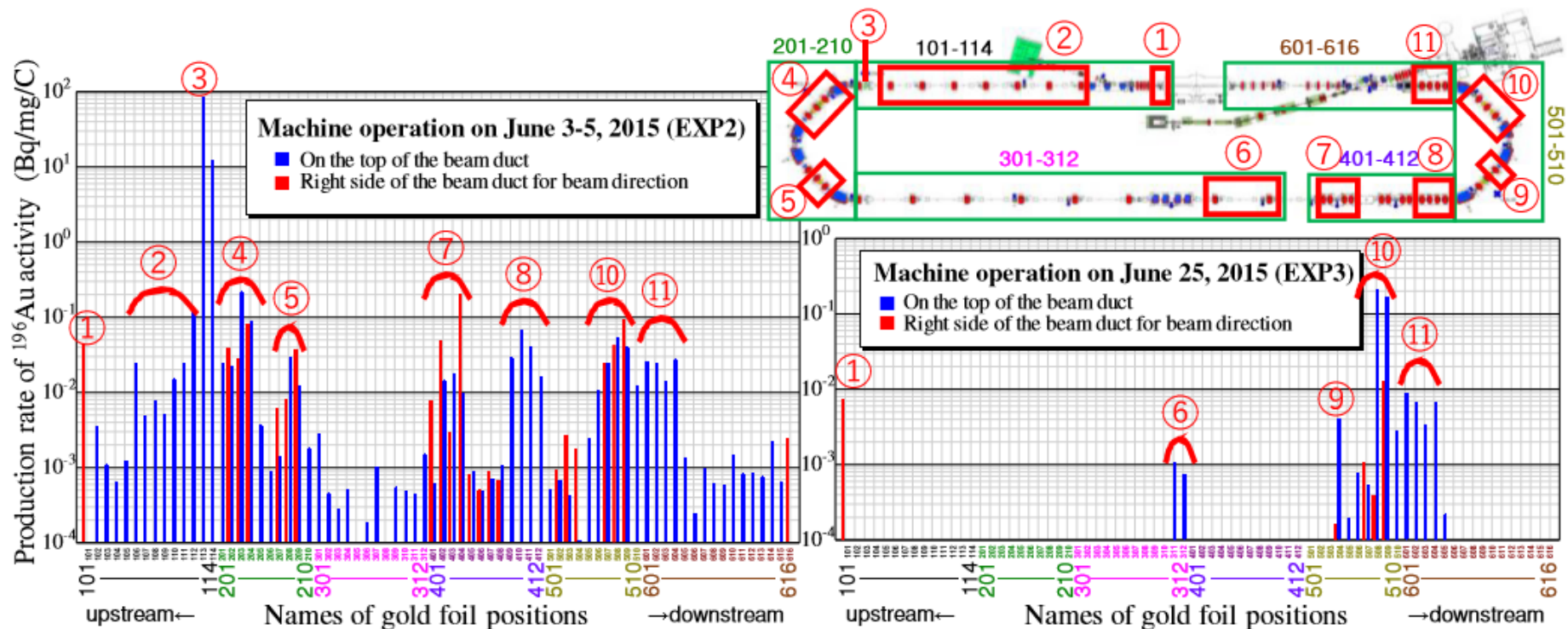


Figure 2: Examples of the production-rate distributions of  $^{196}\text{Au}$  activity. The corresponding locations of the peaks indicated by numbers are shown on the accelerator map (top right).

- 論文ではシミュレーションとの比較やロス量の絶対量への換算など

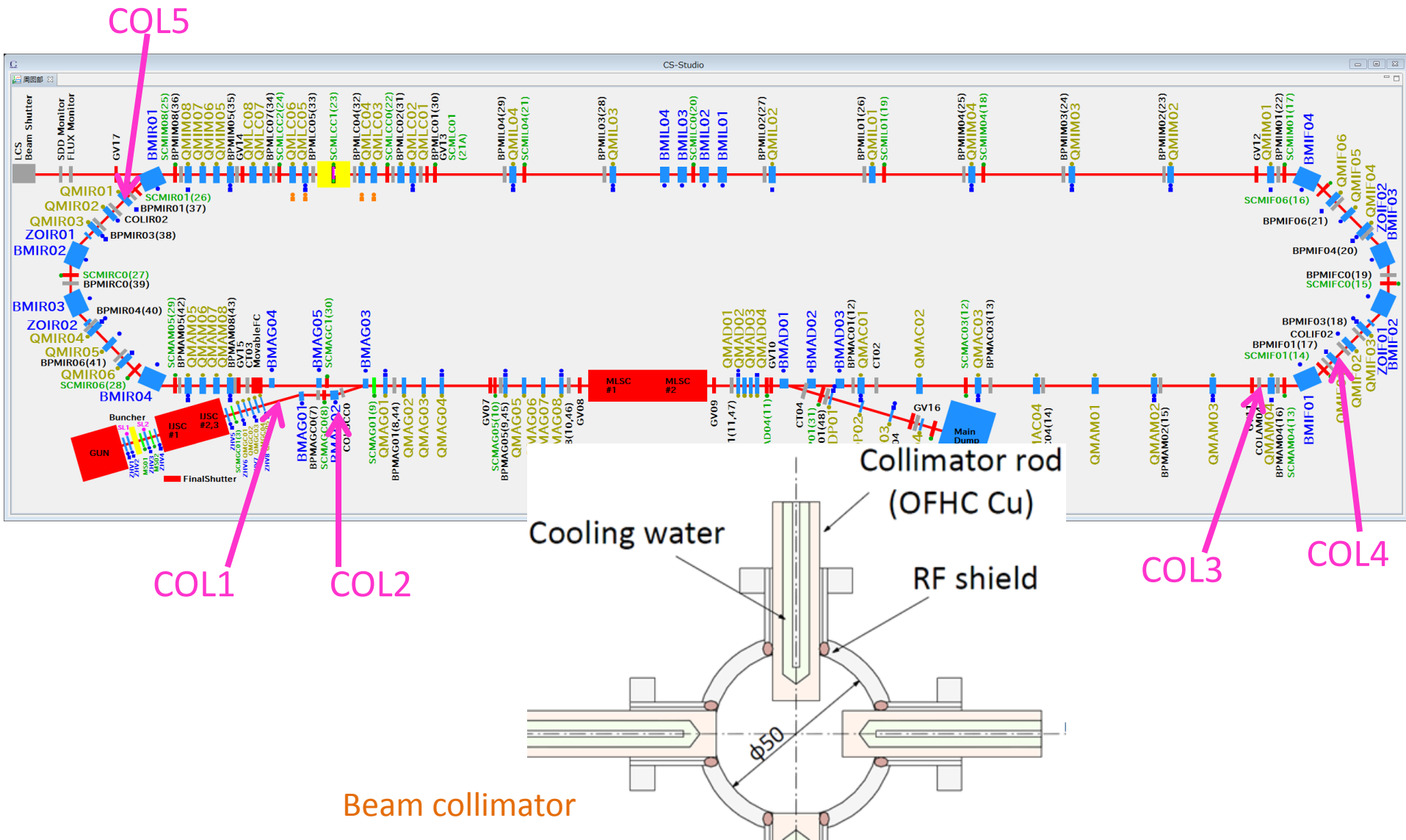
# 目次

- ロス測定ツール
  - リアルタイム測定（エリアモニタ、ロスモニタ等）
  - オフライン測定（カメラフィルム、金箔）
- ロス低減調整
- CW運転時の放射線サーベイまとめ
  - 手動測定
  - ALOKA測定
- 調整例
- まとめ
- ビーム電流と真空度の相関について（坂中、山本）

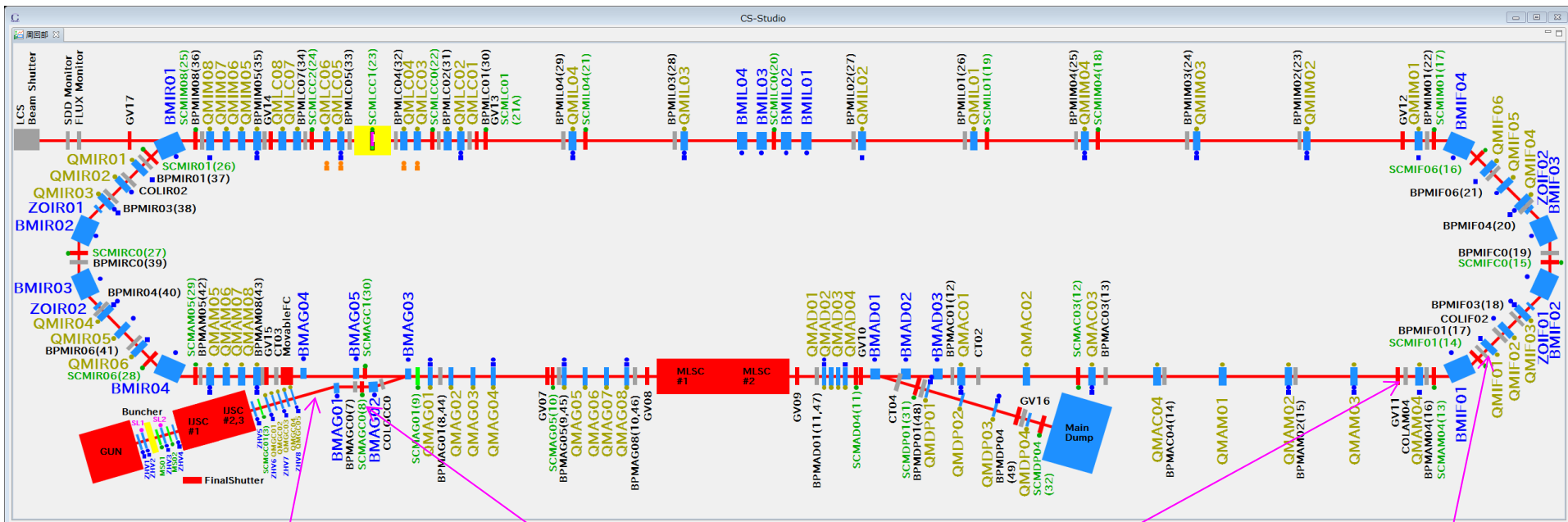


# コリメータの設置場所

- 入射エネルギー部に2台、周回エネルギー部に2台、リターンアーク用に1台設置



# 各コリメータの用途



## COL1:

- at injector
- $\eta=0$  m
- cut halos

## COL2:

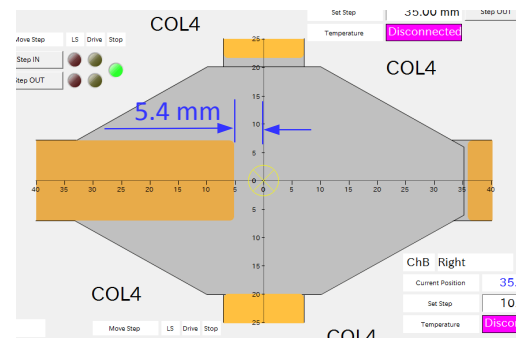
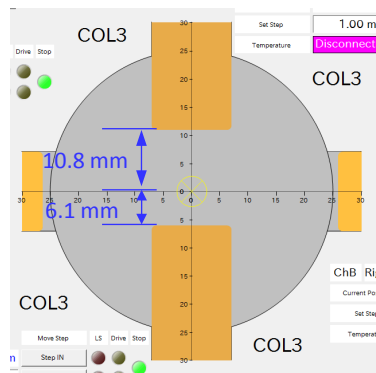
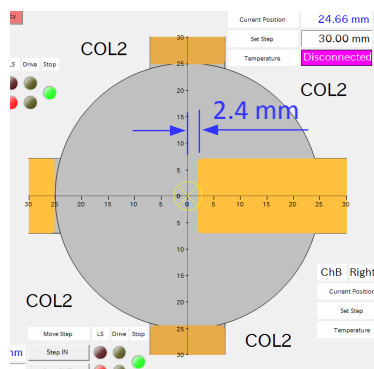
- at merger
- $\eta=0.23$  m
- cut low-energy tails

## COL3:

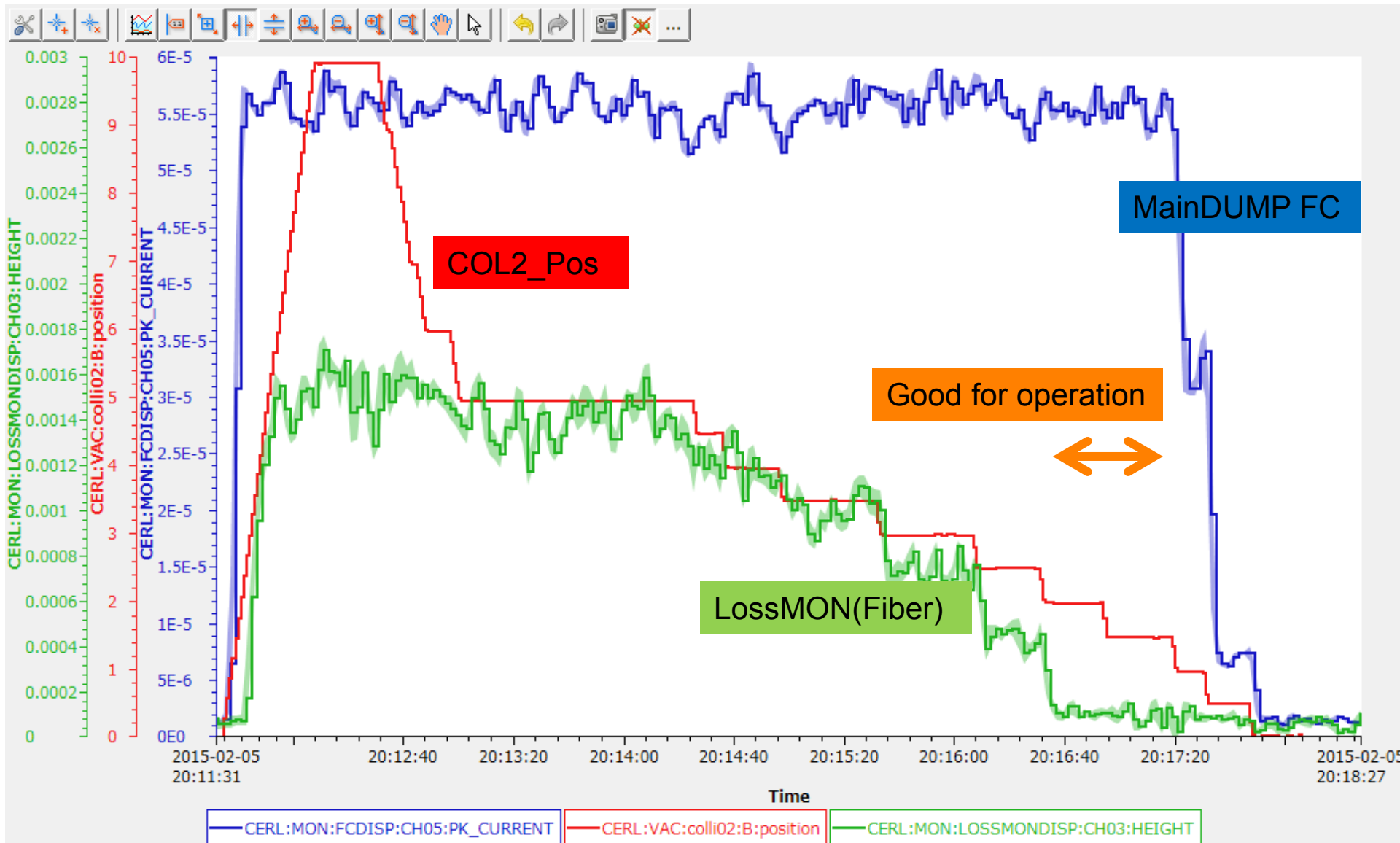
- at straight section
- $\eta=0$
- cut halos (large  $\beta_y$ )

## COL4:

- at arc section
- $\eta=-1.28$  m
- cut low-energy tails



# コリメータ調整例 (Burst Mode)



## 今期のCW運転と手動サーベイ

- 手動サーベイ（坂中、沼田、浅川）を実施した日付と運転条件

2/22 (月) : 80  $\mu$ A (1.3 GHz, MLSC 10MV:7MV)  
2/22 (月) : 300  $\mu$ A (1.3 GHz, MLSC 10MV:7MV)  
3/7 (月) : 300  $\mu$ A (1.3 GHz, MLSC 8.5MV:8.5MV)  
3/8 (火) : 930  $\mu$ A (1.3 GHz, 施設検査後)  
3/25 (金) : 940  $\mu$ A (162 MHz, LCS)  
3/29 (火) : 820  $\mu$ A (162 MHz, LCS)  
3/30 (水) : burst測定

## 今期のCW運転と手動サーベイ

- 手動サーベイ（坂中、沼田、浅川）を実施した日付と運転条件

2/22 (月) : 80  $\mu$ A (1.3 GHz, MLSC 10MV:7MV)

2/22 (月) : 300  $\mu$ A (1.3 GHz, MLSC 10MV:7MV)

3/7 (月) : 300  $\mu$ A (1.3 GHz, MLSC 8.5MV:8.5MV)

3/8 (火) : 930  $\mu$ A (1.3 GHz, 施設検査後)

3/25 (金) : 940  $\mu$ A (162 MHz, LCS)

3/29 (火) : 820  $\mu$ A (162 MHz, LCS)

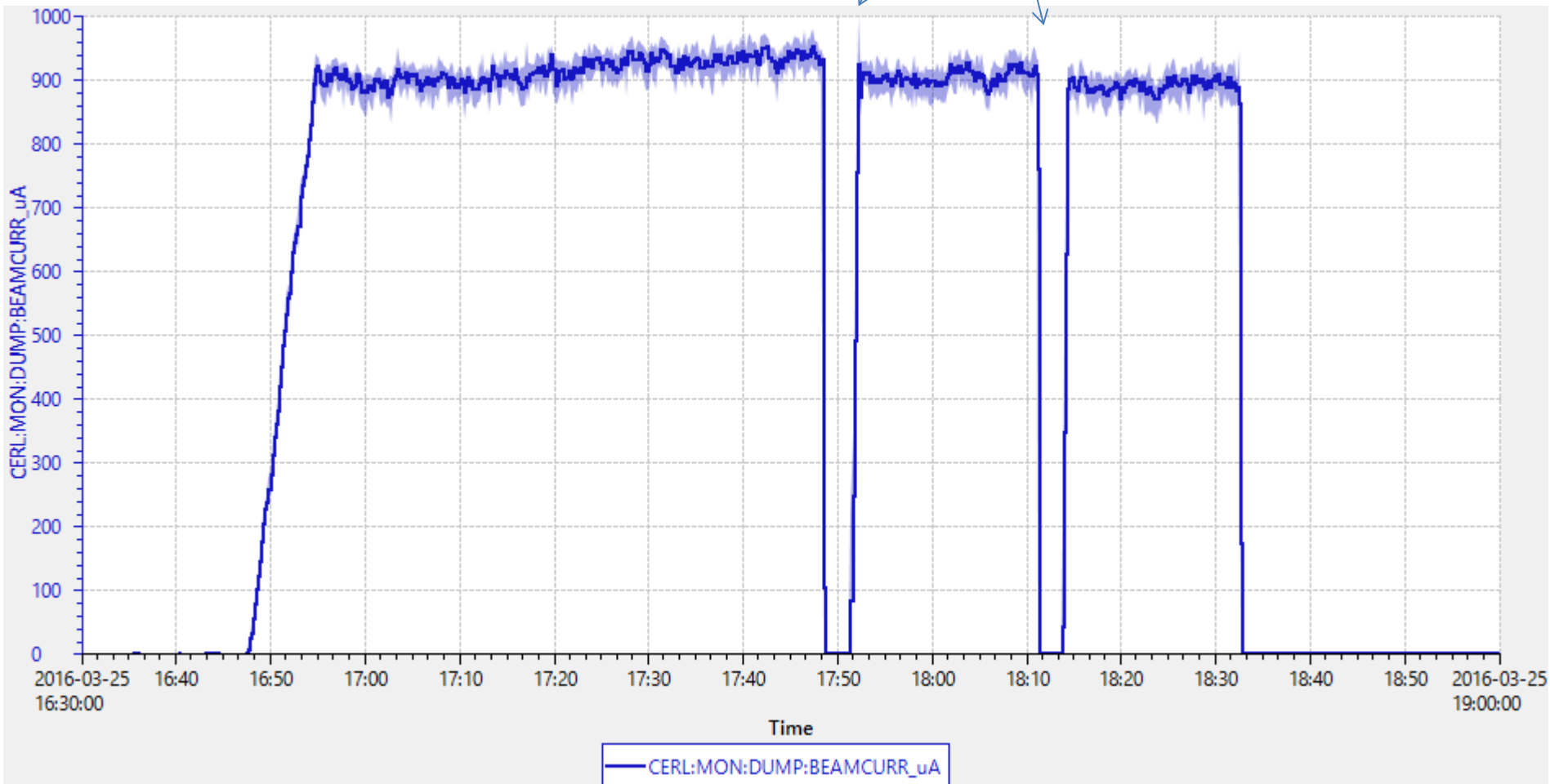
3/30 (水) : burst測定

この5つをグラフでプロットして比較  
(3/7は簡易測定のため数値が無い部分が多い)

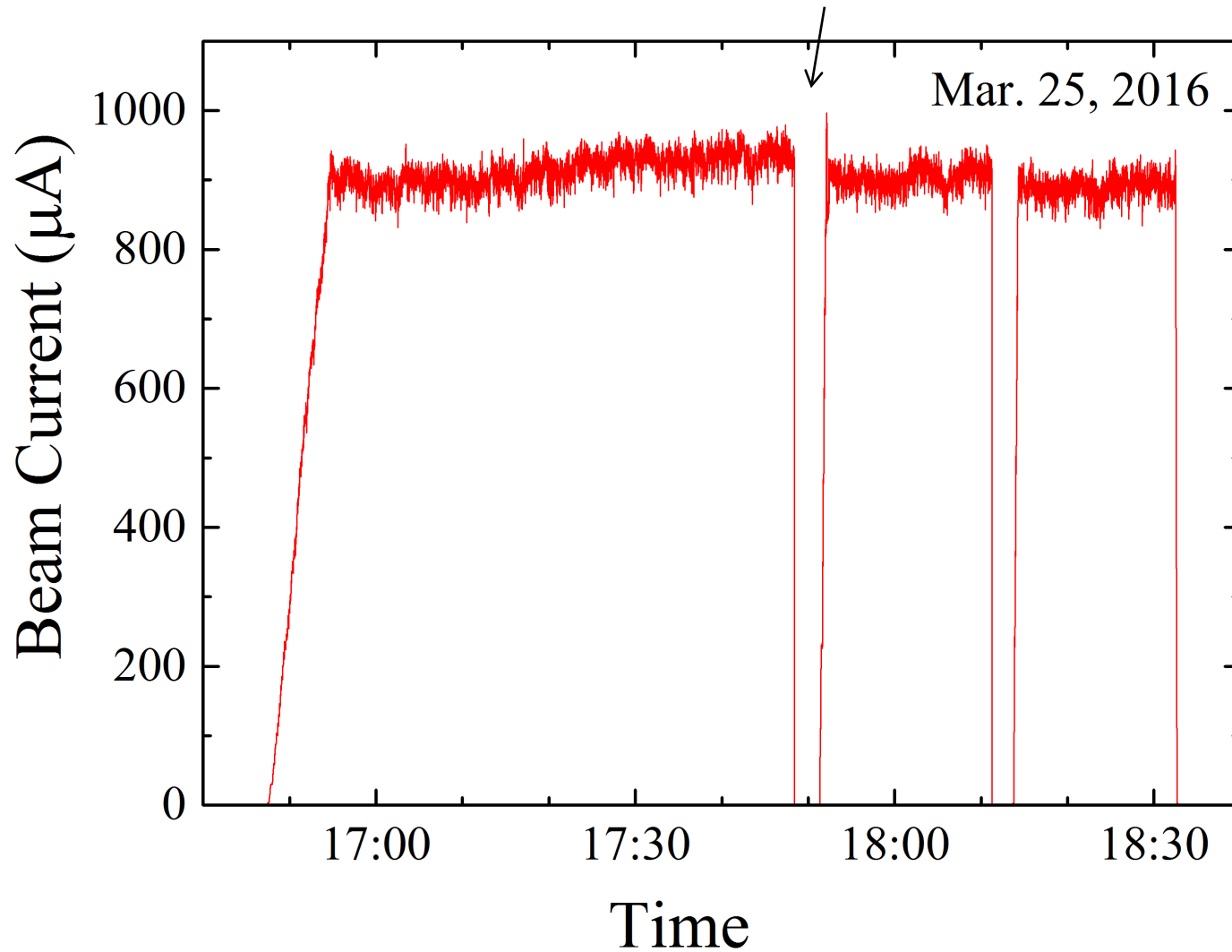
# ビーム電流履歴の例 (900 $\mu$ A運転)

- 2016/3/25 LCS実験

レーザー位相リセットのため手動停止



# ビーム電流の履歴 (3/25 16:40 – 18:40)

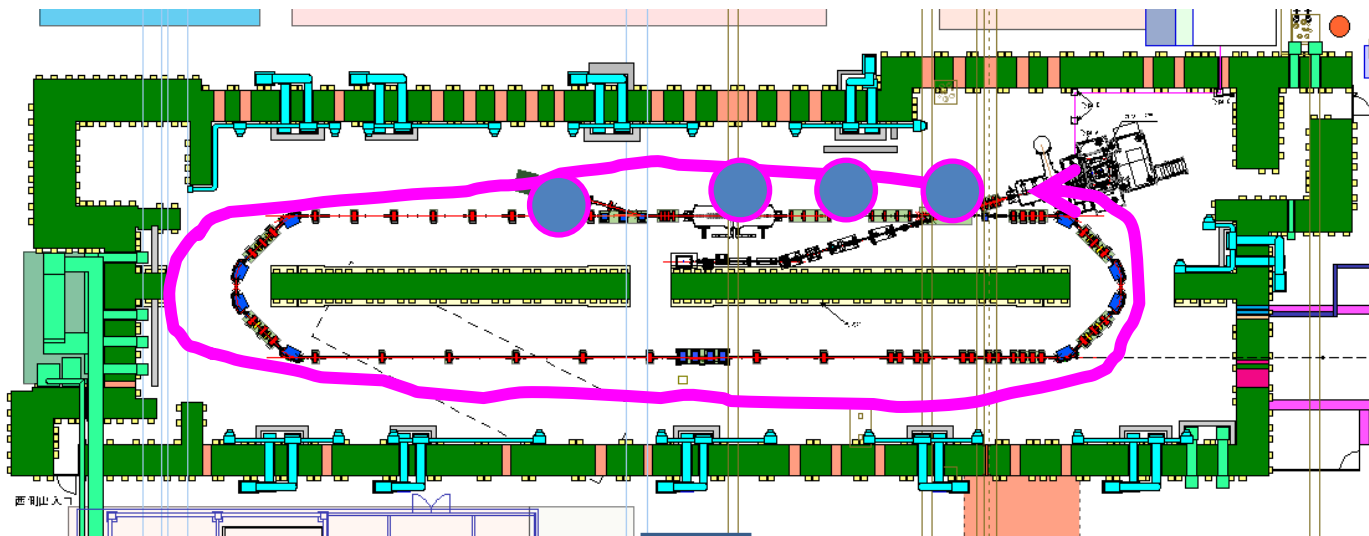




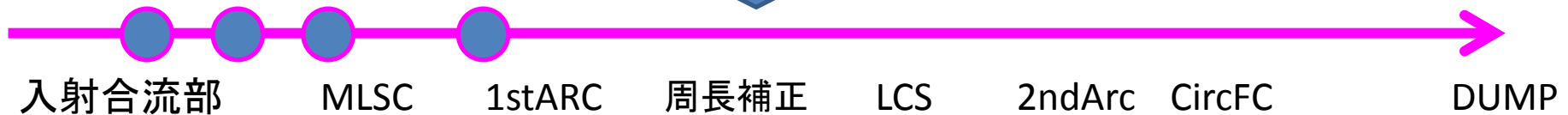


# 放射線モニタ（天井・壁側面）プロット

- 差を明確にするため、測定結果をグラフにプロットしたい。
- 2次元→1次元に展開
  - 入射合流部 → CircFC まで。ダンプを最後に。
  - 壁側面も同様にプロット

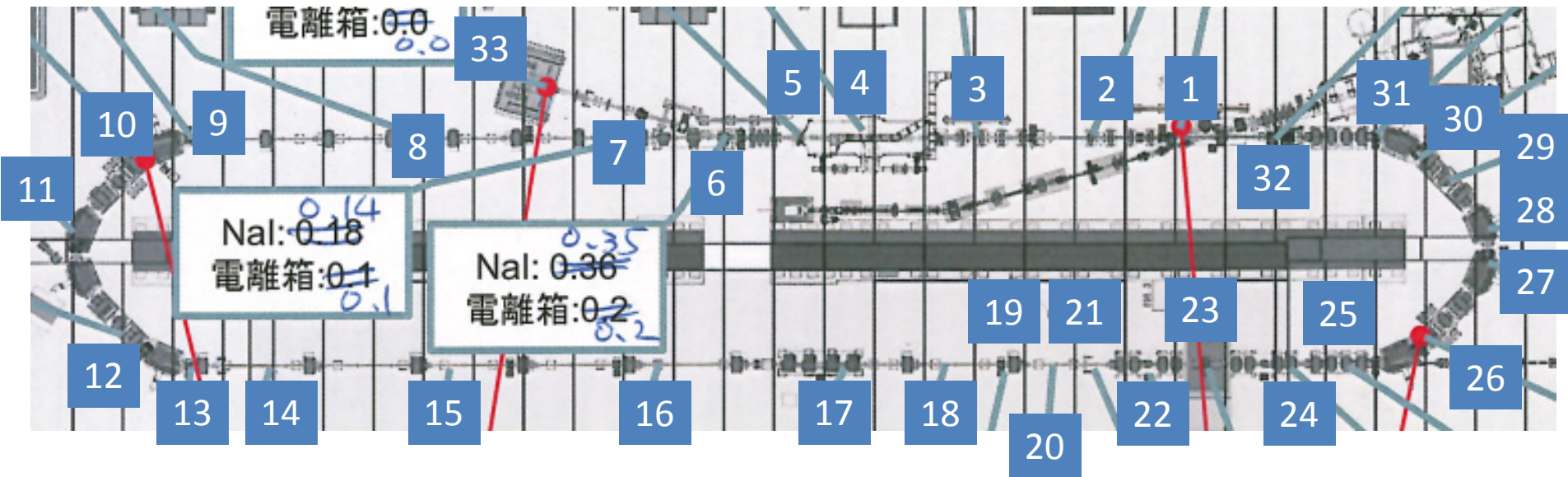


各測定点を下のような軸に並べる



# 天井：位置番号割り振り

- 合流部～CircFCまでを1～32番 + ダンプ33番
- 原則としてローカルにレベルが高い点を探しているので、測定日によって測定点が違う事に注意。大まかな位置の目安とする。
- 毎回、すべての測定点を測っているわけではない

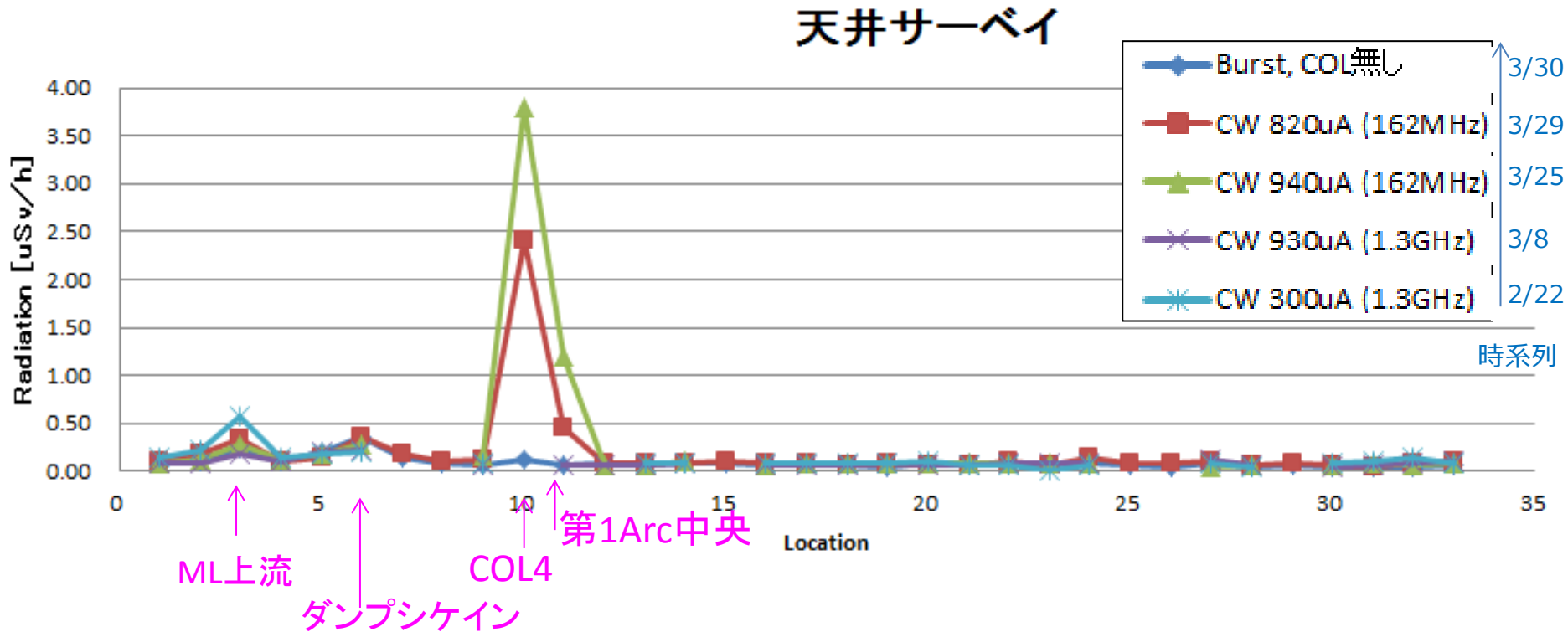


# データ例

- 各測定点にシリアル番号を割り振り、測定値を記入する
- Excelシートに保存
  - 今後も測定後はこの表にデータを追加していけば良い

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1				2016/03/30			2016/3/29			2016/3/25			2016/3/8	
2		測定日・条件		21:00 - 22:02			18:02 - 19:39			17:41 - 18:33			19:44 - 20:20	
3				Burst, COL無し			CW 820uA (162MHz)			CW 940uA (162MHz)			CW 930uA (1.3GHz)	
4	場所	場所	No	NaI	電離箱		NaI	電離箱		NaI	電離箱		NaI	電離箱
5	天井上	入射合流部	1	0.08	0.00		0.10	0.00		0.08	0.00		0.09	0.00
6			2	0.11	0.10		0.19	0.15		0.13	0.00		0.09	0.00
7		ML上流	3	0.25	0.20		0.33	0.20		0.27	0.00		0.19	0.10
8		ML中央	4	0.11	0.10		0.11	0.00		0.13	0.10		0.10	0.10
9		ML下流	5	0.21	0.20		0.14	0.15		0.19	0.20		0.20	0.20
10		取出シケイン	6	0.35	0.20		0.36	0.20		0.28	0.40		0.23	0.30
11		取出シケイン下流	7	0.14	0.10		0.18	0.10						
12			8	0.08	0.00		0.10	0.10						
13		第1アーク入口	9	0.07	0.00		0.12	0.00		0.16	0.10		0.06	0.10
14		COL4 (E21)	10	0.12	0.00		2.40	1.60		3.80	2.50			
15		第1アーク中央	11	0.06	0.00		0.45	0.70		1.20	1.60		0.07	0.00
16			12	0.08	0.00		0.08	0.00		0.07	0.20		0.06	0.10
17		第1アーク出口	13	0.07	0.00		0.09	0.00		0.07	0.20		0.07	0.10
18			14	0.09	0.00		0.09	0.10		0.10	0.00		0.09	0.00
19			15	0.08	0.00		0.11	0.10						
20			16	0.07	0.00		0.08	0.00		0.07	0.00		0.07	0.00
21		周長補正	17	0.08	0.00		0.08	0.00		0.08	0.00		0.07	0.00
22			18	0.06	0.00		0.06	0.00		0.08	0.00		0.07	0.00
23			19	0.05	0.00		0.08	0.00		0.08	0.00		0.08	0.00
24			20	0.08	0.00		0.07	0.00		0.09	0.00		0.06	0.00

# 天井サーベイ プロット (NaIのみ)

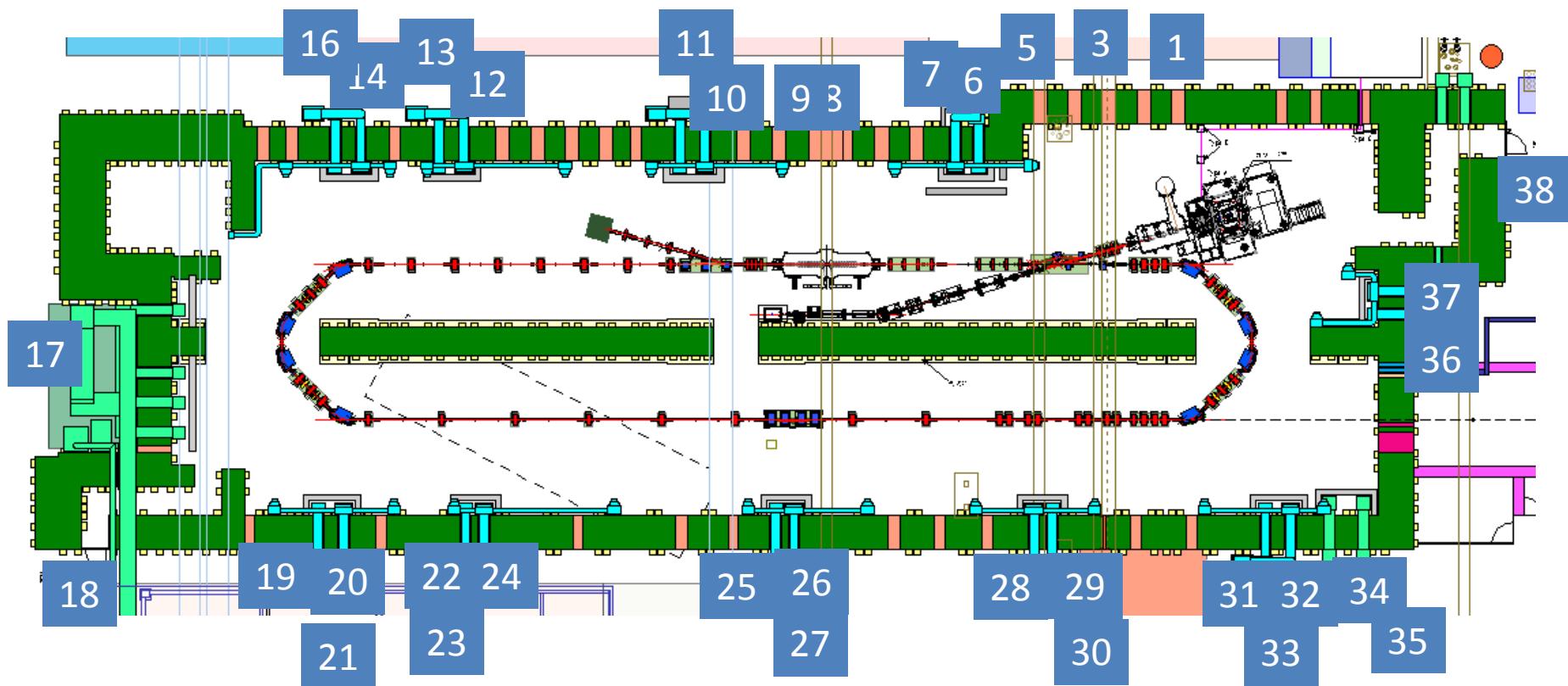


- 162MHzのときは、COL4を使っていたので、その上と第1アーク中央が高い  
→ 10 mA 運転へ向けて必要であれば追加遮蔽を検討
- ダンプシケイン(#6)のところでも少し高い → 次ページで差分プロット

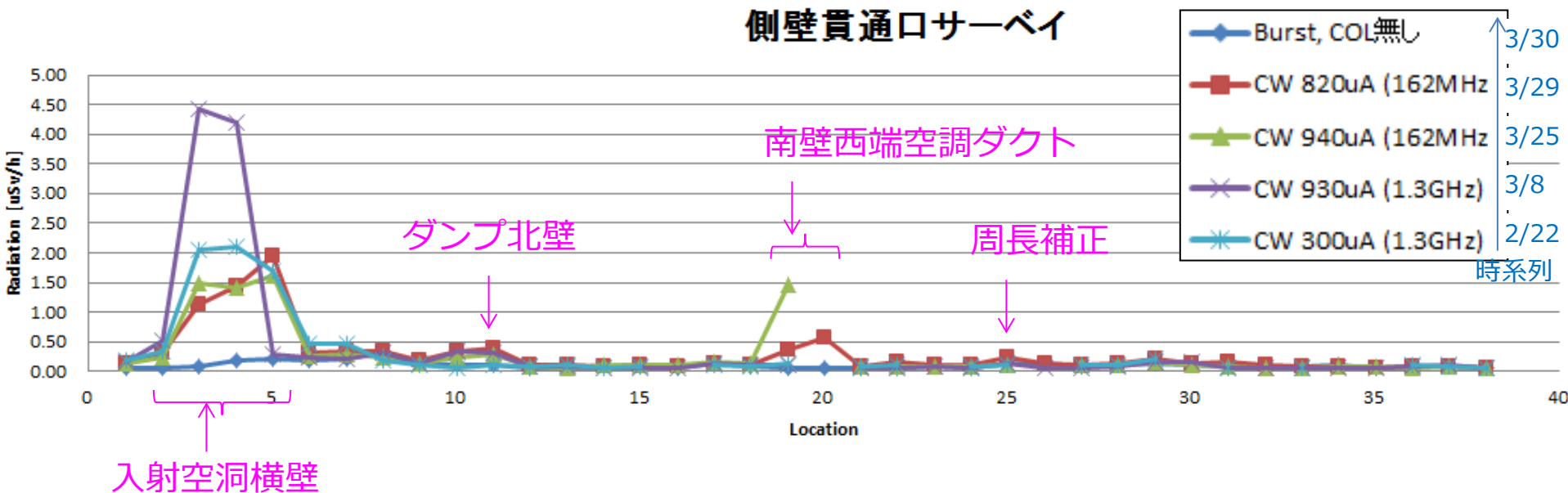
棒グラフを並べる方が一般的かもしれないが、「差」がわかりにくかったので折れ線プロット



# 側壁測定的位置を平面図に表示

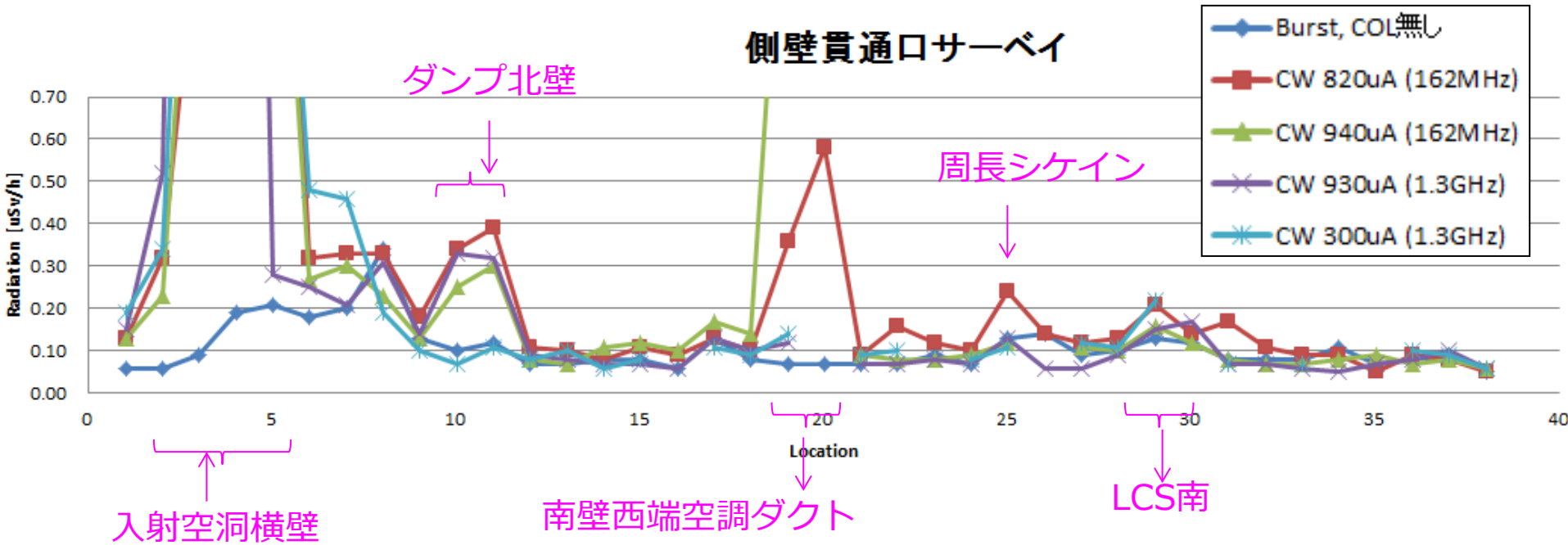


# 側壁貫通孔 プロット



- 1.3 GHz のとき、入射空洞横壁のレベルが意外に高かった
- 入射部のコリメータが原因と思われる
  - 低エネルギー部なのでいままではあまり気にしていなかったが、今後は要注意
- ALOKA No.2 でも反応している

# 縦軸拡大

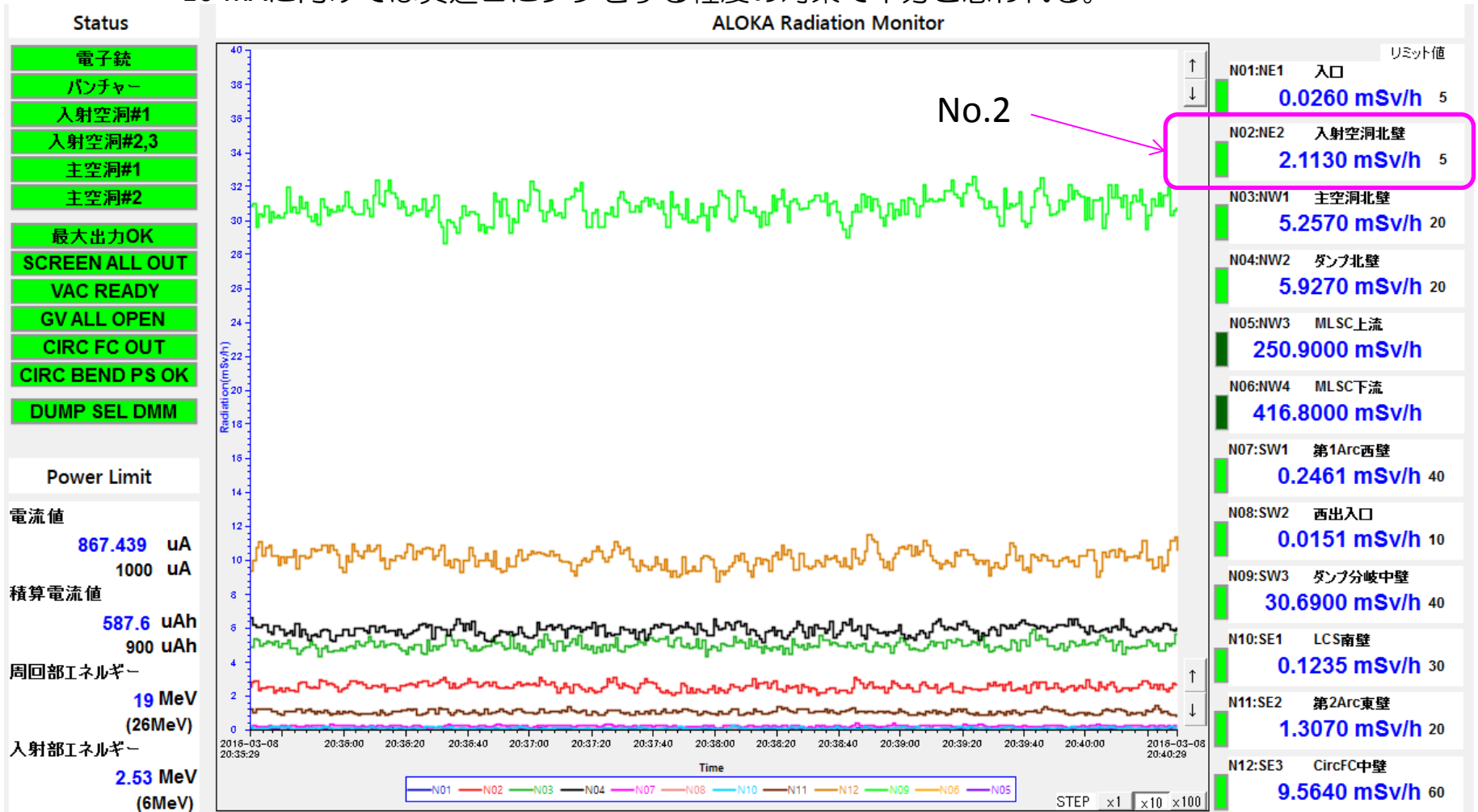


- 162MHzにしてからは第1 アーク出口（南壁西端空調ダクト）高い
- 3/8の930uA(施設検査後)以降、ダンプ北壁でレベル上昇している
  - ダンプ北壁といっても、空調ダクトなので少し位置は違う
  - この部分は周回ビーム調整の余地あり
  - 電荷が増えた効果か



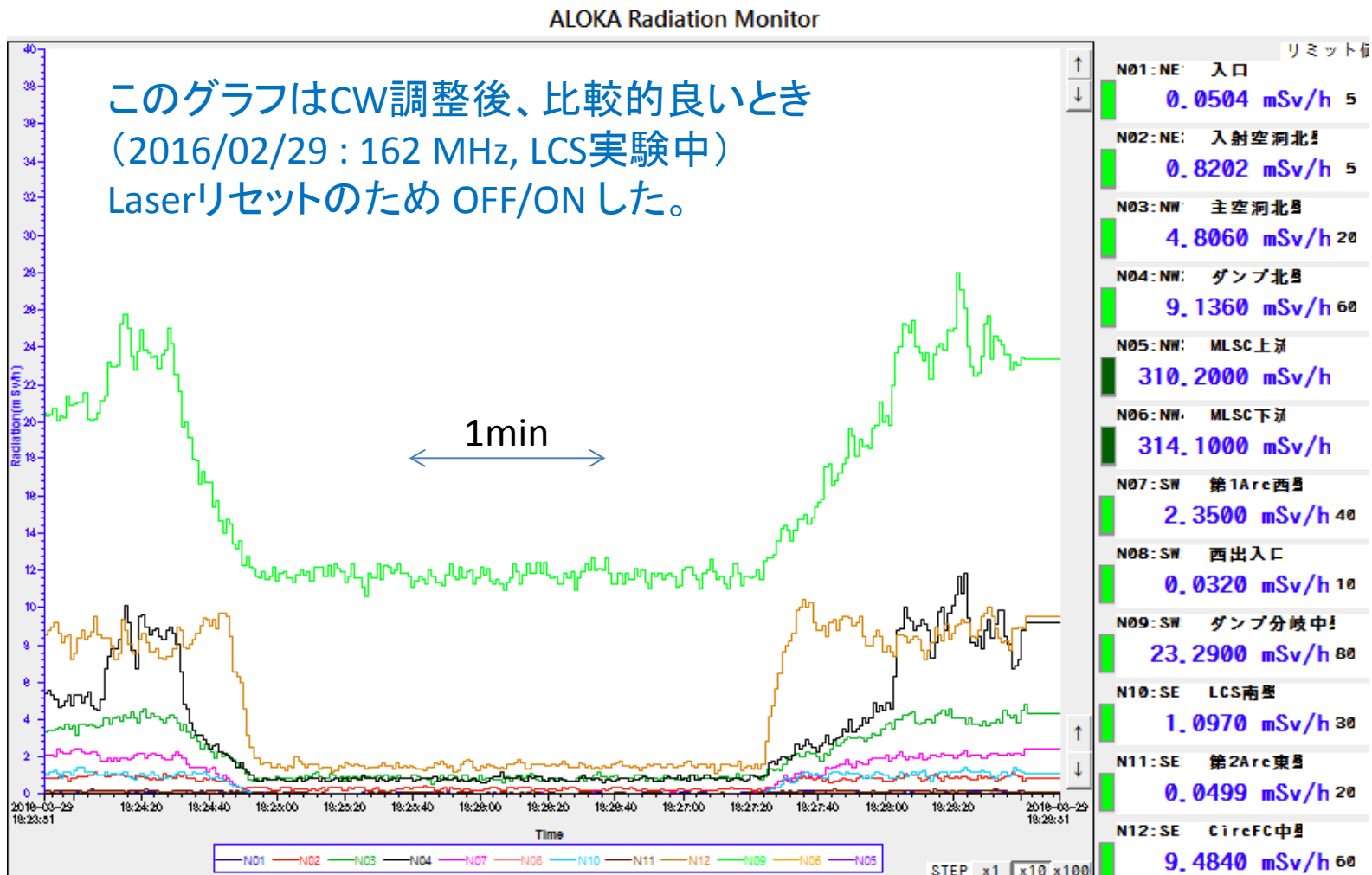
# 2016/3/8 施設検査後900 $\mu$ A時のALOKA

- 1.3 GHz 運転時。
- 導波管貫通口の真横で 5  $\mu$ Sv/h。そのまま10倍すると少し苦しいかもしれないが
  - 少し離れれば問題無し
  - 10 mAに向けては貫通口にフタをする程度の対策で十分と思われる。



# ALOKAについても同様にプロット

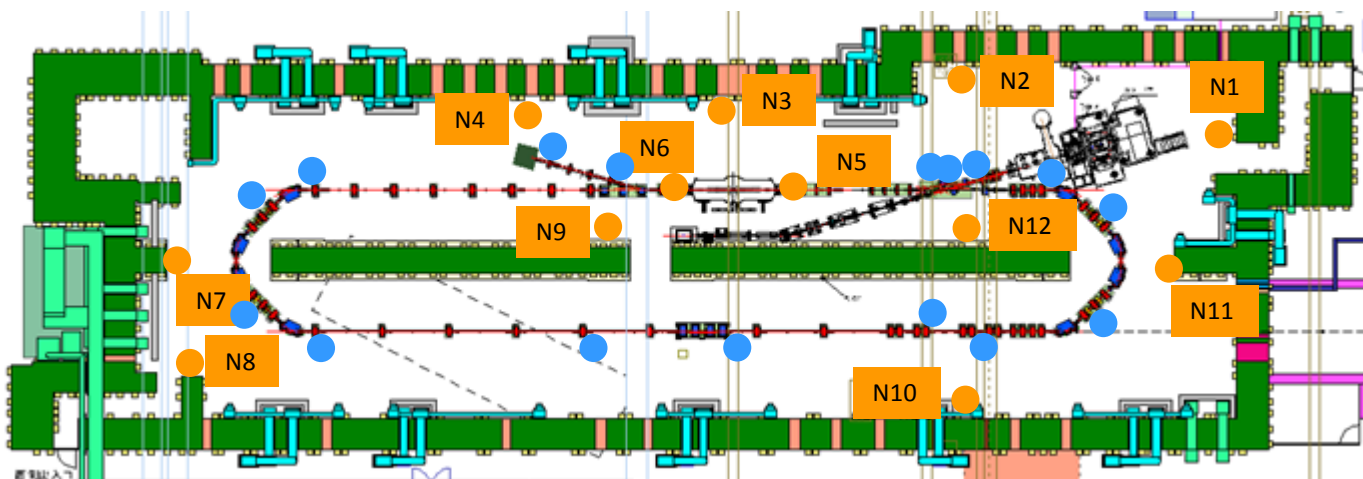
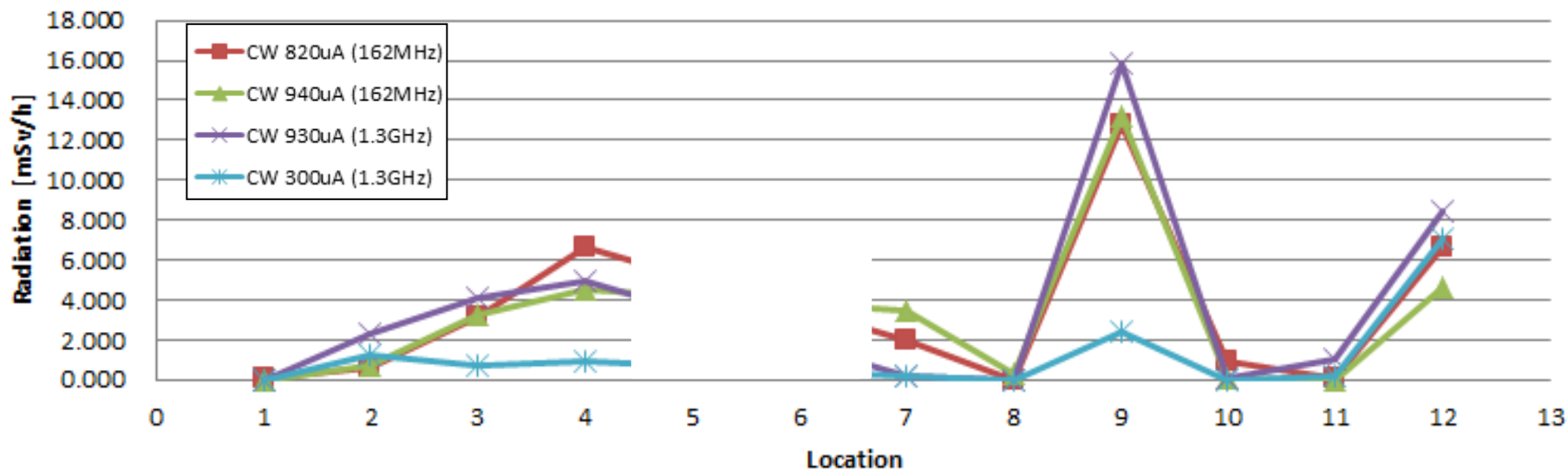
- CW運転中にLaser ON/OFF することがある
  - 差はビーム由来の損失。ON,OFF各1分間の平均と標準偏差を計算(DBより)



# ALOKA Beam Loss : Beam ON/OFFの差

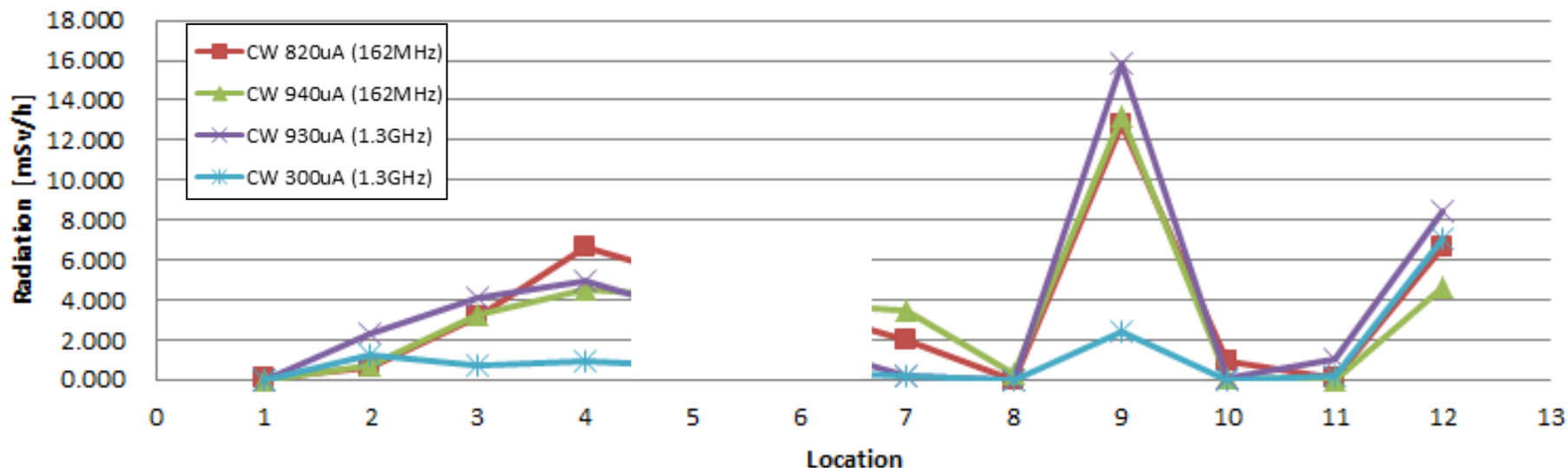
- 主空洞前後(#5, #6)ではFEの影響が大きく、ビーム成分は見えなかった

## Radmon(ALOKA) CW; Beam ON-OFF



# ALOKA Beam Loss

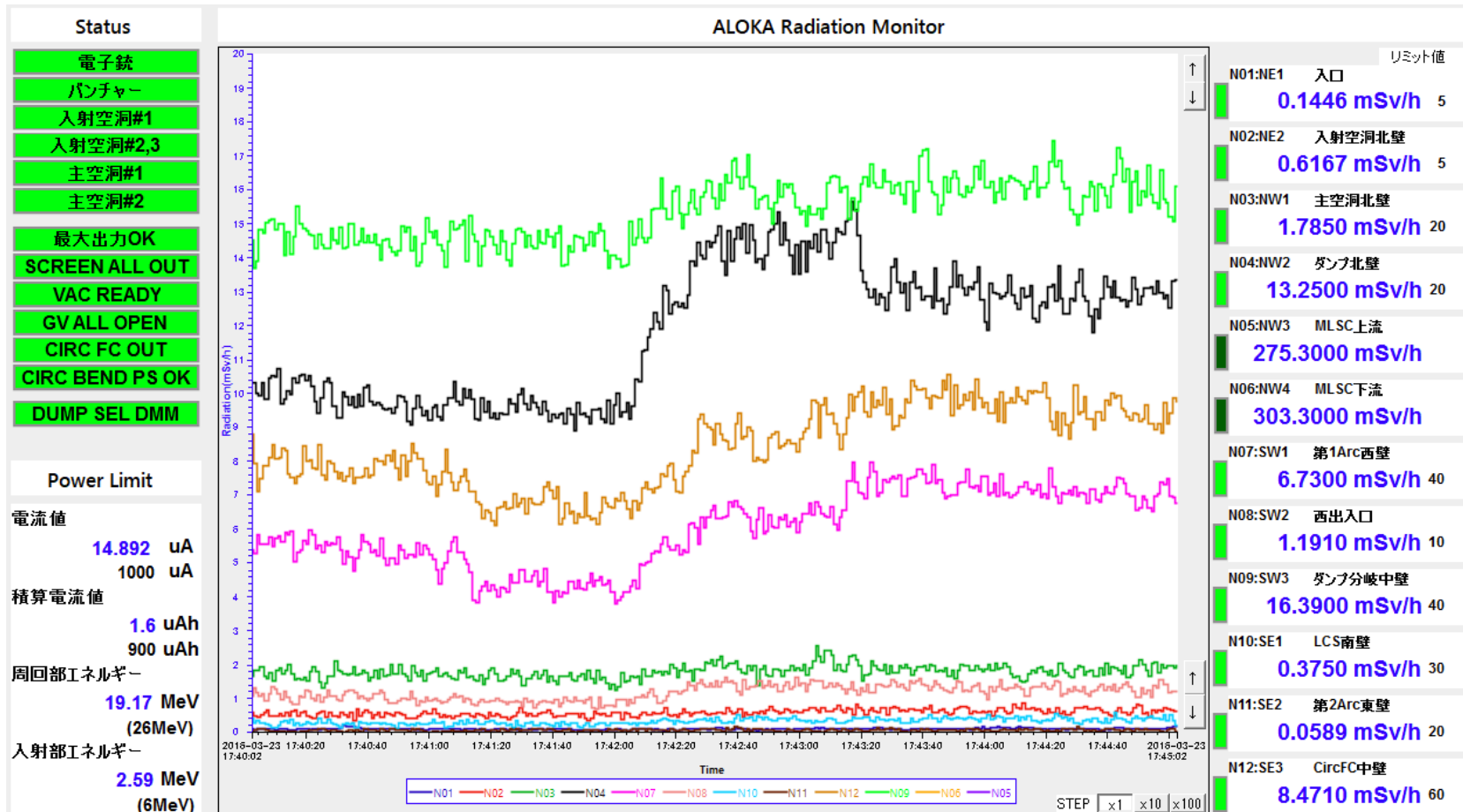
## Radmon(ALOKA) CW; Beam ON-OFF



- 天井・壁外のサーベイデータと整合している
- 調整した後で問題になるのは尾mに3か所：多い順に
  - #9 CircFC 中壁、#12 ダンプ分岐内壁、#4 ダンプ北壁
- 調整されているとはいえ、#2,3,4の北壁側はレベル高い
  - 壁外で見えているものと同じだが、より敏感に測定できる：この値から壁外の値を推定可能
- #7はCOL4を使っていることに起因して、162MHzで見えるようになった
- #10は最後のLCS運転で少し出ている
- 今期のCW運転で#1, #8, #10, #11 はほとんど反応無し
  - #1は移動しても良いかもしれないが、継続性の意味もあるのでそのままにする
  - もっと数を増やしたい～安価なモニタをたくさん設置する方向性（絶対値はラフな校正で）

# 調整がうまくいかないときの例

- 2016/3/23 : 高電荷調整後CW, 入射空洞中心通している
  - わずか CW 10 $\mu$ A の段階でダンプ北壁やCircFC中壁のロスが増えている
  - これを100倍するのはちょっと無理。ダンプ分岐中壁（緑色）以外は2mSv/h以下にしたい
  - このときはコリメータをどう調整しても、良い解が無かった



# ビームロス測定・調整のまとめ

- 1.3 GHzでのロス
  - 良い例 : 施設検査
  - 空洞 off center + COL1,2 で時間方向を空間方向に射影し、COL2で切る
    - 低エミッタンスを犠牲にしている。
    - 両立するパターンを見つけることができるか? → もっと調整時間が必要。
- 162 MHzでのロス
  - 入射空洞の中心を通しているときは、良い解が無かった
  - 空洞 off center + COL1,2,4 で許容できる運転パターンを確立
  - LCSのIP調整をした後でロスが大きく観測されることもあった
    - PMTでも見えるし、天井でも見える
    - イメージングのバックグラウンドに影響
    - もうすこしLCS後～第2アーク～ダンプのビーム調整手法を確立したい。スタディ時間が必要。
- 診断用ロスモニタの位置を適切な位置に変更 (2/29(月)) して以降、Burstで調整すればCWでの様子を推定できるようになった
  - 1.3GHzでは問題無かったが、162MHz/大電荷運転では Beam loading の効果避けることが必要。バースト長を短くするしかない?
  - LCS後のオプティクス調整やロスモニタ増強など、10mAに向けての課題はある。
  - 安価なモニタをたくさん置く方向は良いと思う

# 目次

- ロス測定ツール
  - リアルタイム測定（エリアモニタ、ロスモニタ等）
  - オフライン測定（カメラフィルム、金箔）
- ロス低減調整
- CW運転時の放射線サーベイまとめ
  - 手動測定
  - ALOKA測定
- 調整例
- まとめ
- ビーム電流と真空度の相関について（坂中、山本）

# 主な真空ゲージ

- 入射部ミラーチェンバー

CERL:GUN:INJ:EXG\_MON:MIRROR

- 入射器空洞出口、COL1から5連Qを挟んだ手前

CERL:VAC:ccg01:mon:pressure

- 合流部、COL1とCOL2の間

CERL:VAC:ccg02:mon:pressure

- 第1アーク中央(真空が良い場所の例)

CERL:VAC:ccg24:mon:pressure

- ビームダンプ手前

CERL:VAC:ccg56:mon:pressure

○ BPM (45)

● Screen (32)

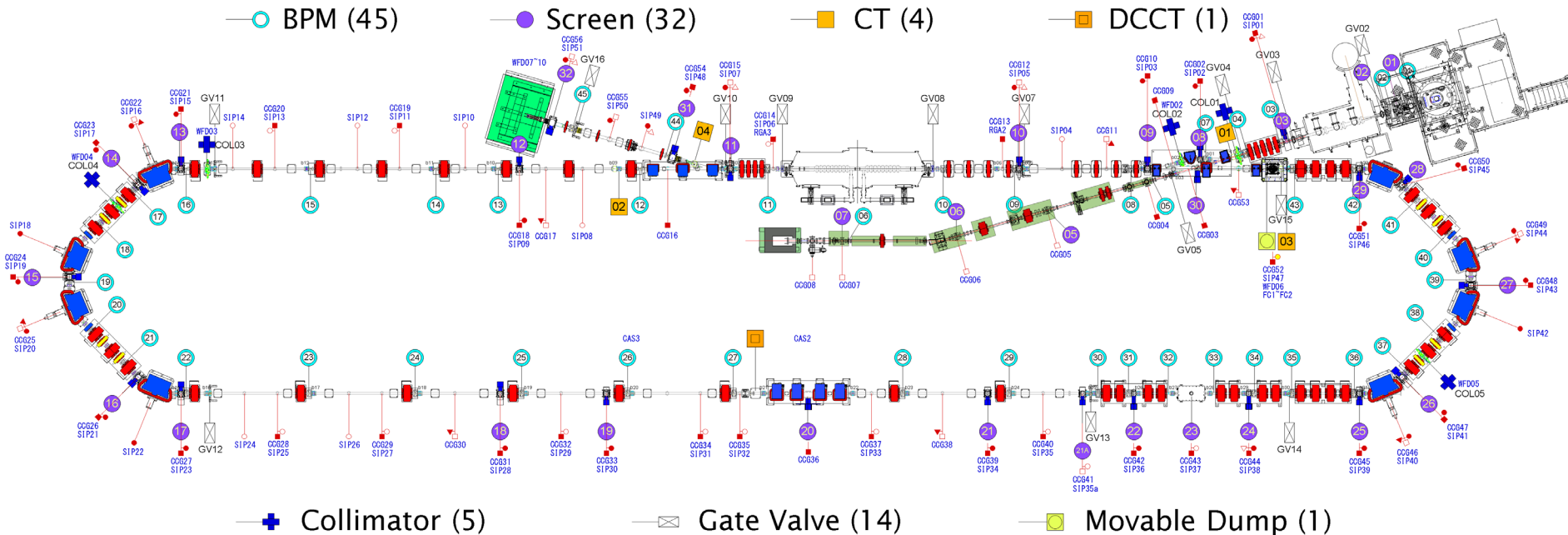
■ CT (4)

■ DCCT (1)

⊕ Collimator (5)

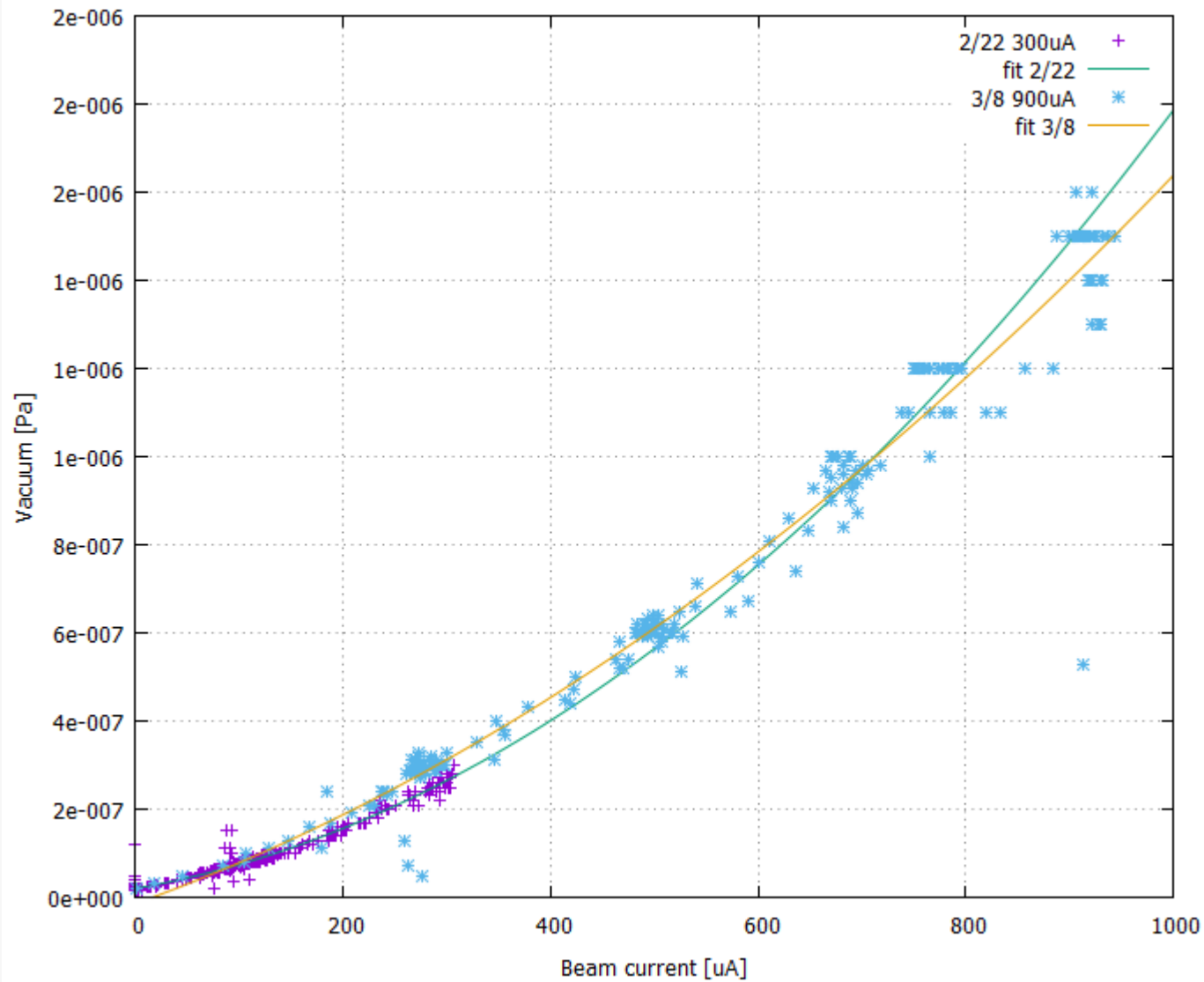
⊞ Gate Valve (14)

■ Movable Dump (1)

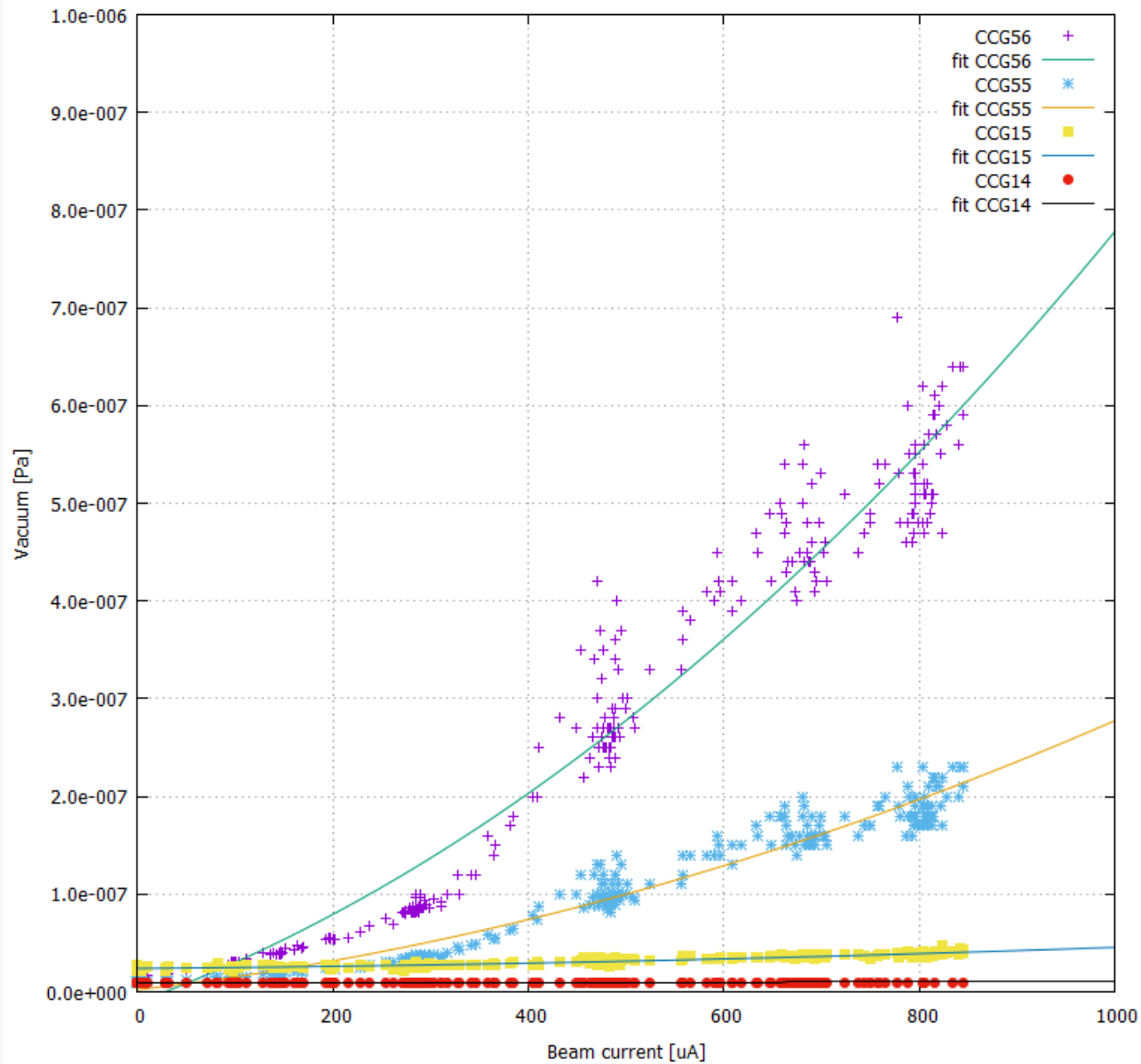




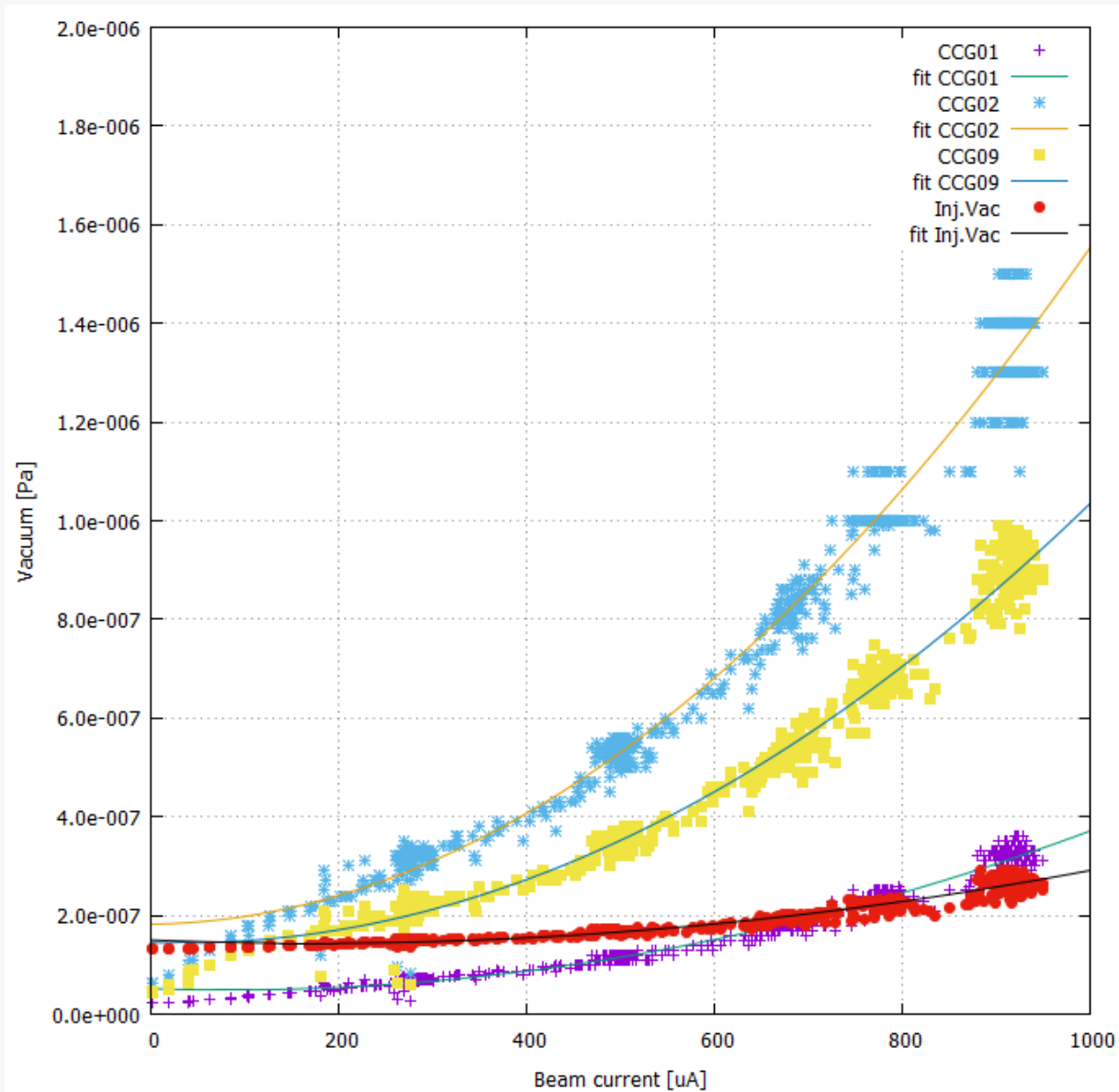
# Dump 真空度 (3/8 1300MHz)



# Dump 真空度 (3/24 162.5MHz)



# 合流部付近の真空vs電流(3/8 1300MHz)



# 合流部付近の真空vs電流(3/24 162.5MHz)

