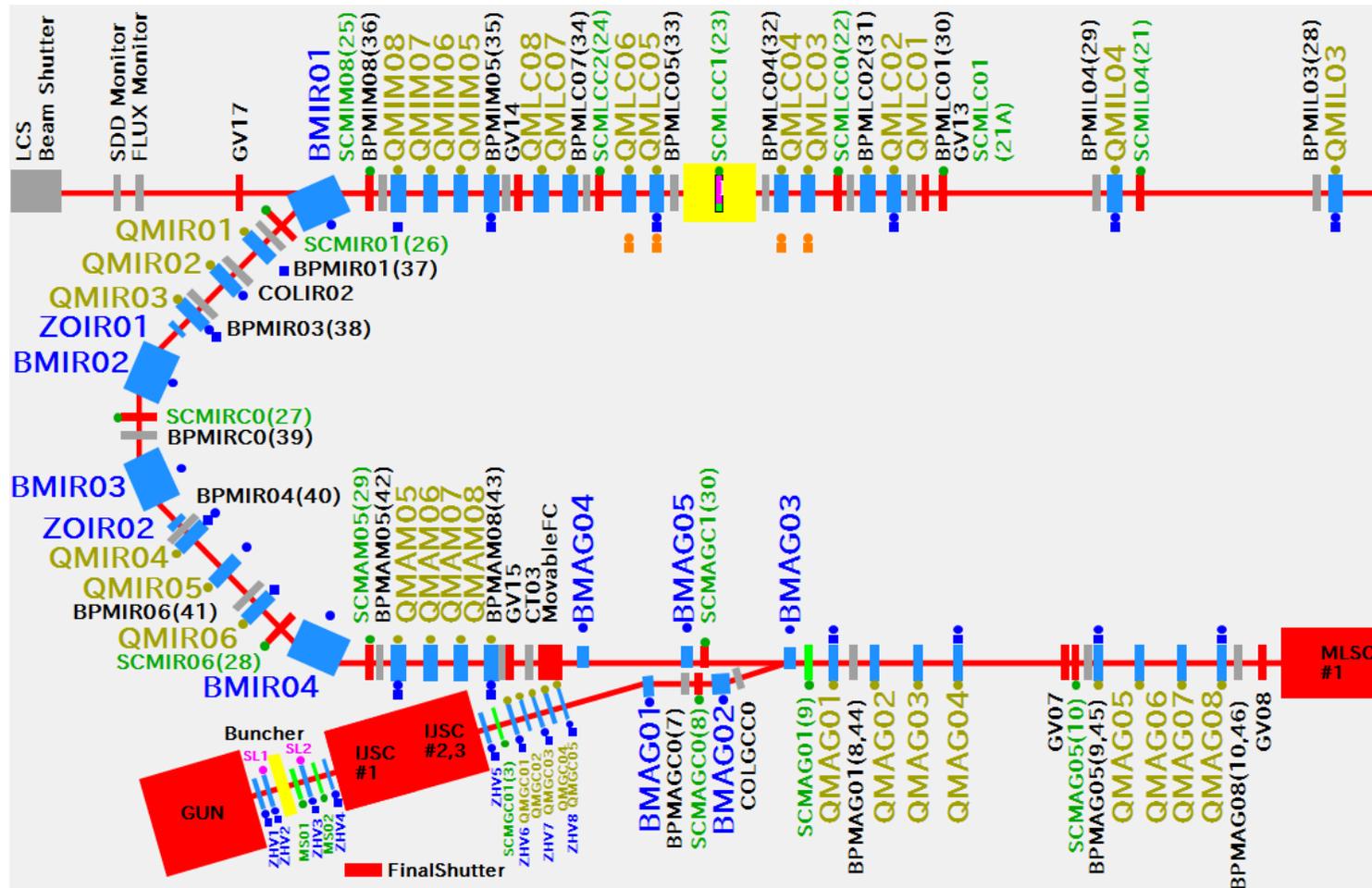


# BPM回路更新について

2015/01/21 ビームダイナミクスWG  
帯名、高井

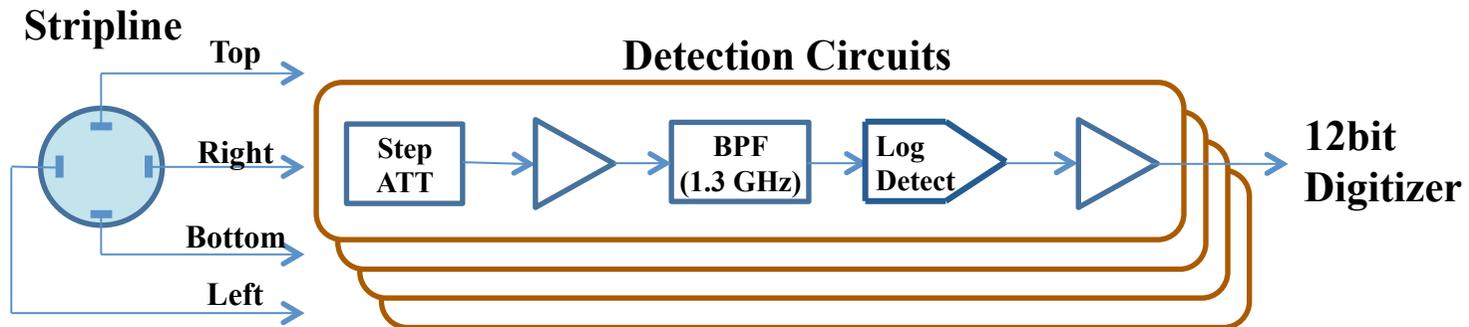
# BPM名称について

- 全部で45台
  - Lattice上 (Elegant) の名称 : BPMxxyy
  - 物理的通し番号 : BPM1 .. BPM45
  - 周回部のビームが通る順の番号 : PM 1...49

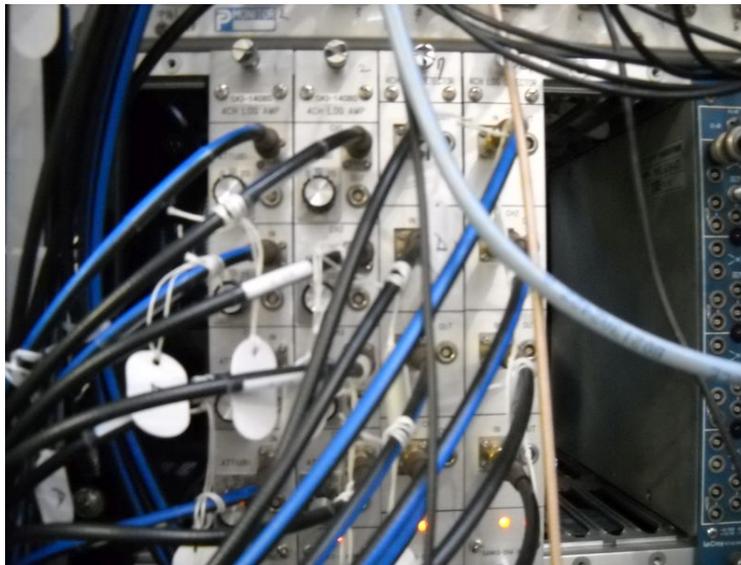


# 検波回路

- ログ検波回路:NIM1幅

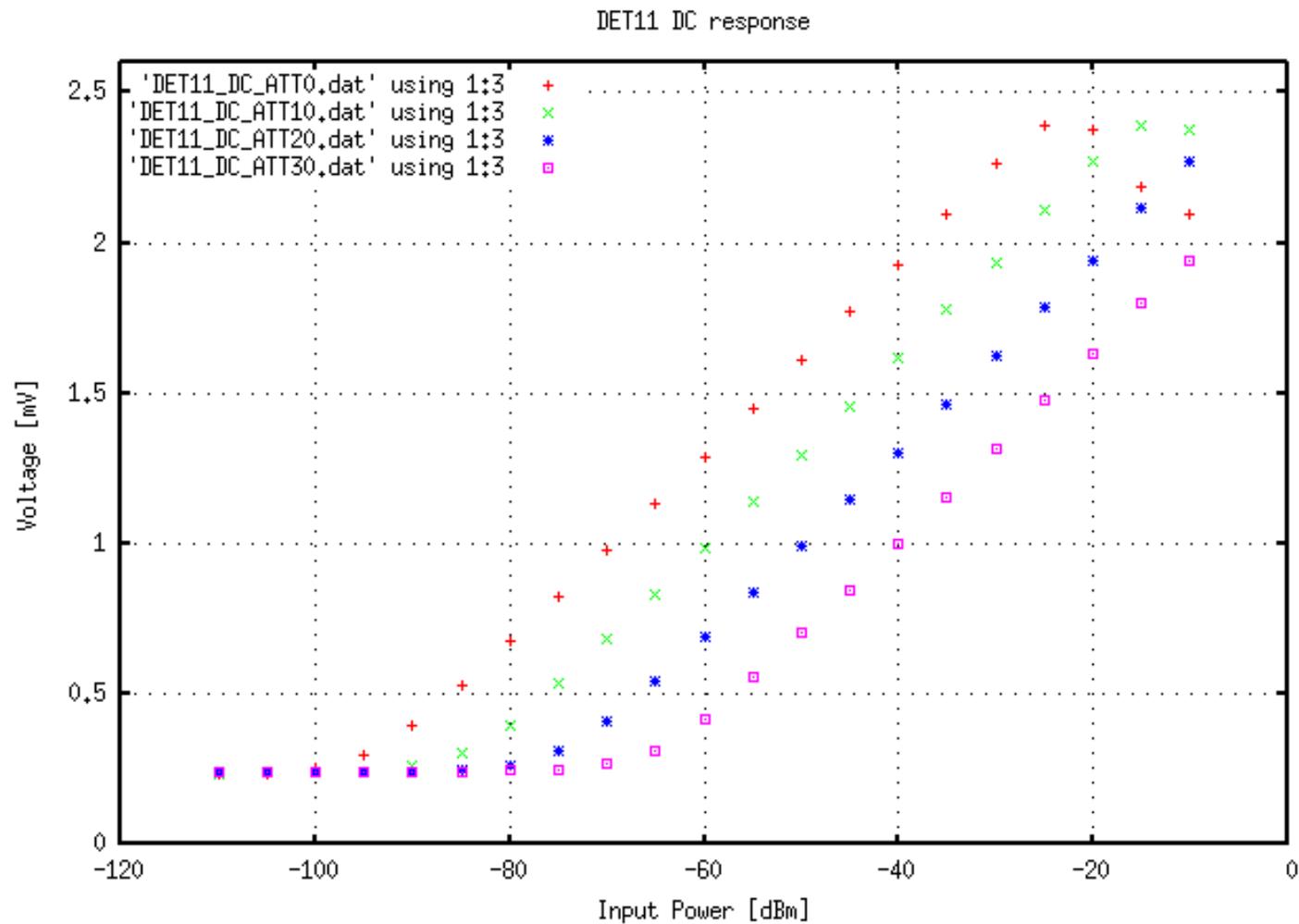


- NIM 1幅のモジュール



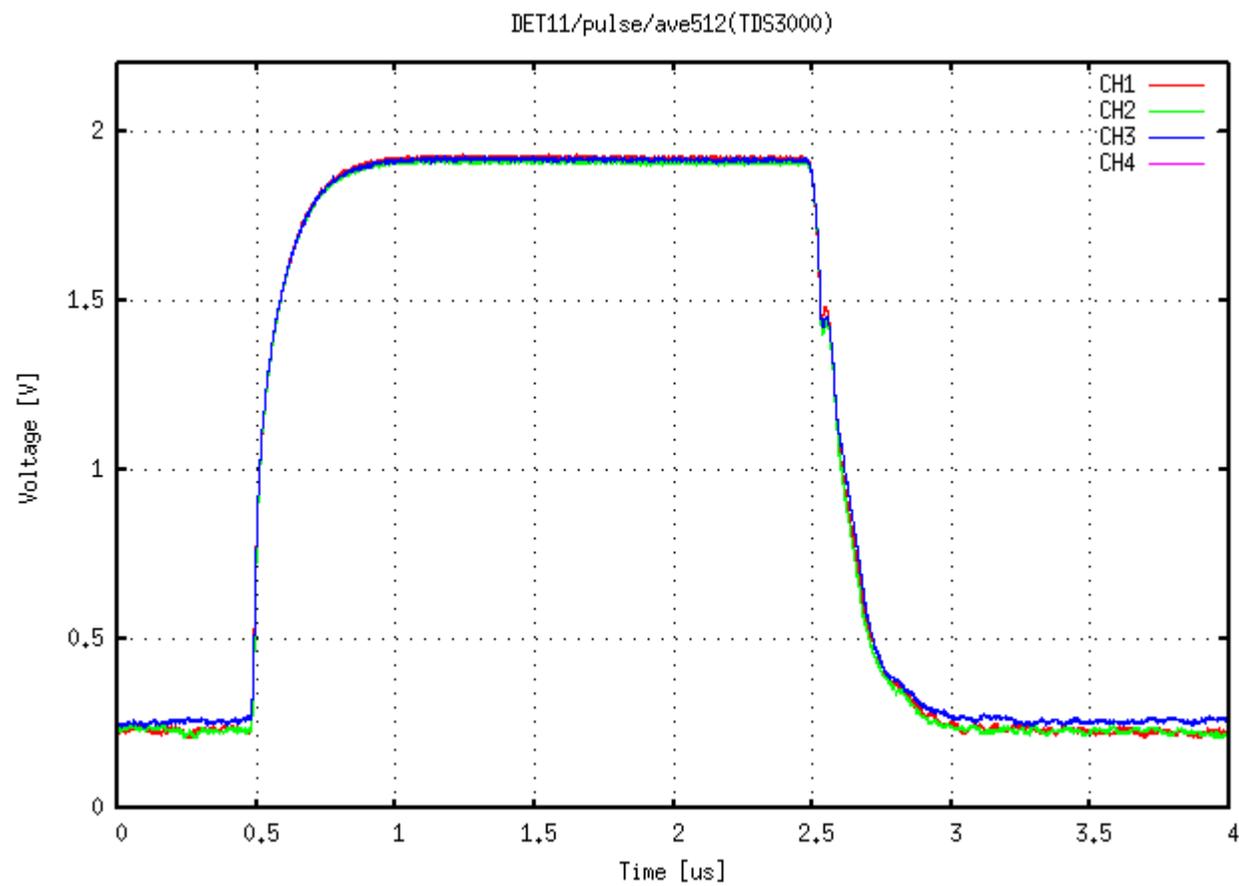
# 特性

- 振幅依存性
  - -90dBm ~ -30 dBm で Log Linear
  - 固定ATT を 10, 20, 30 と変えた場合の応答：全回路の特性を取得



# パルス応答

- 1300 MHz, 2  $\mu$ sパルス変調

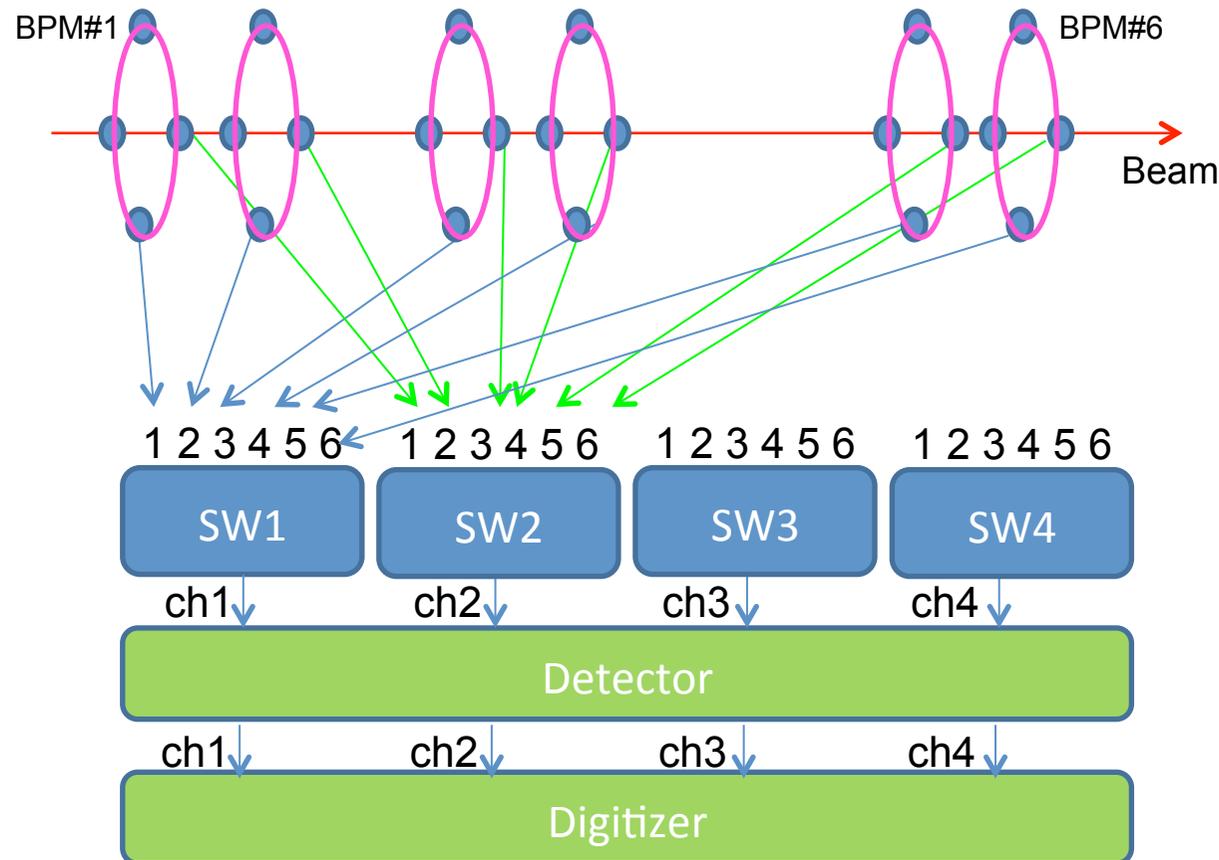


## Log 回路の変遷

- 初回
  - 入射部コミッショニング時に 6 台 製作
  - パネルのスイッチで ATT 切り替え (市販の Step Attenuator)
- 2回目
  - 周回部コミッショニング後に 10台 製作
  - リモート ATT 切り替え 1dB step, max 31 dB
- 今年度
  - 同じものを 11台 製作
  - 基板起こしの初期コストが不要になるため、金額は10台と同じで数を増やせるとのこと
  - 時間がかかるのは入力段の BPF
- 現在は合計27台

# 同軸スイッチ

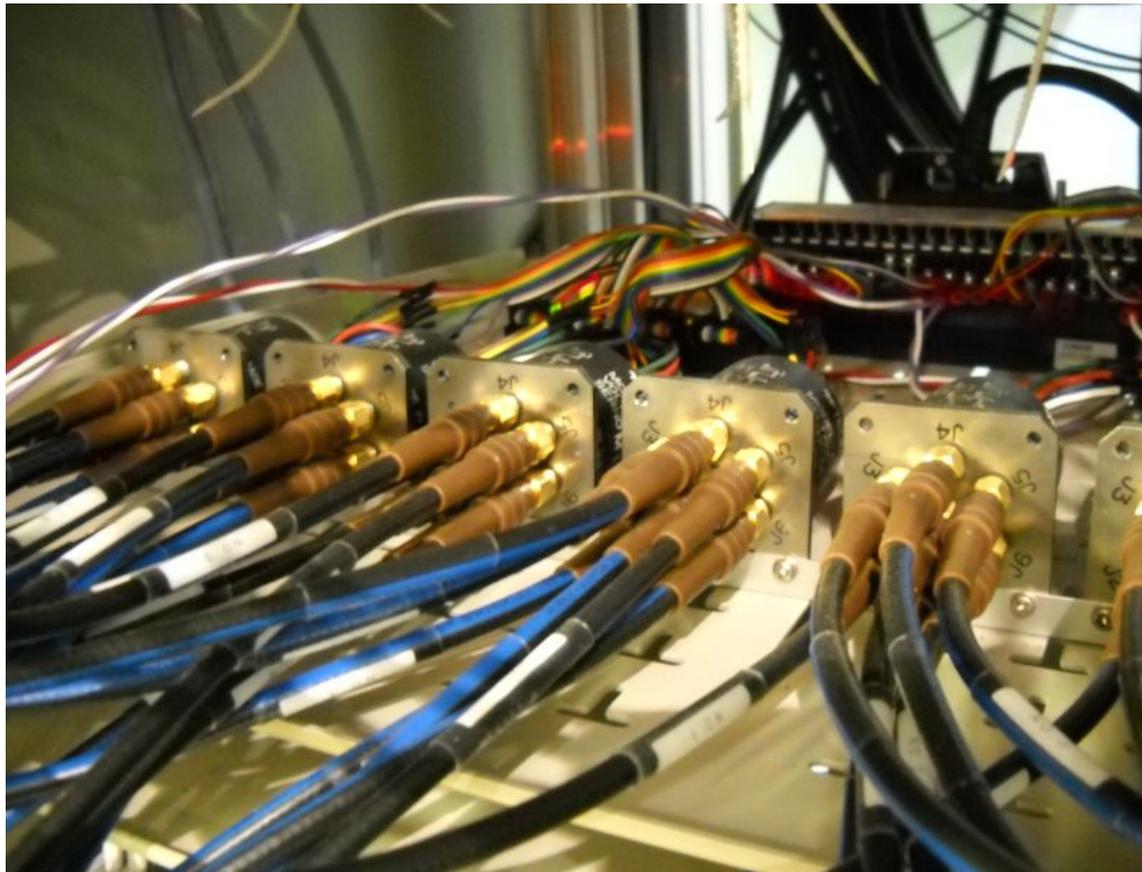
- 少ない回路で多くのBPMを測定するため、ARで使っていた同軸スイッチを使用
- Single Pass なので、4つの電極は同時に測定する必要がある
- 1つの検波回路で6個のBPMを切り替える



4スイッチのペアを  
“Switch Unit”と呼ぶ

## 周回部コミッショニング時

- Switch Unit を 6 セット製作
- $6 \text{ BPM} \times 6 \text{ SU} = 36 \text{ BPM}$  を切り替えでカバー
- 43個のストリップライン電極のうち、測定できないものがあった
- その後、10回路を追加して、全数測定可能になった



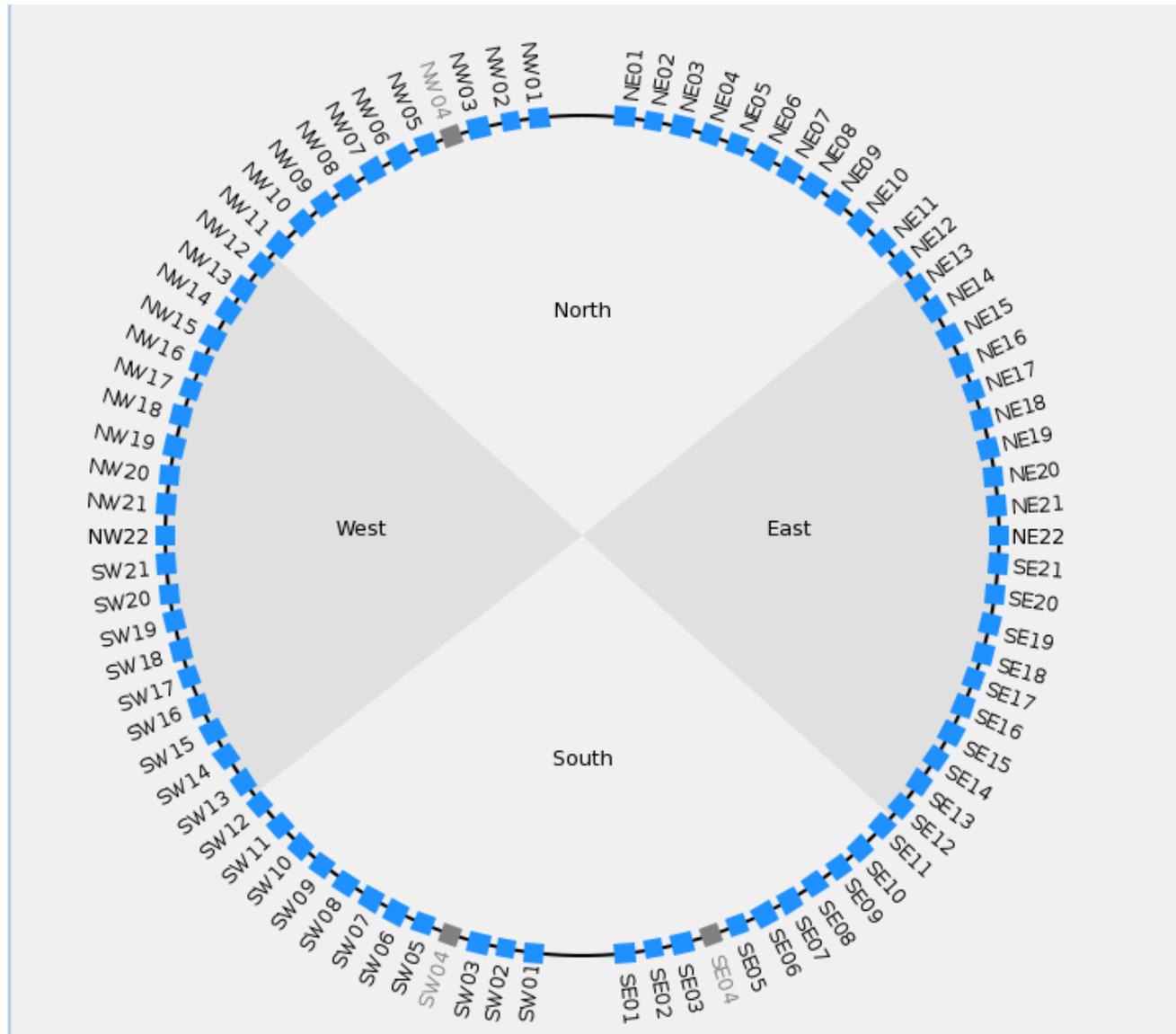
## 周波数変換器

- 切り替えを止めたいが、回路の数が足りない
- 予算は無い
- 1300 MHz → 508 MHz への変換器を製作
  - NIM 1幅のモジュール
  - 別途 LO をつくるモジュールも製作。1300MHzとは非同期。
  - なぜベースバンドにしない？
  - 予算はAR関係だから。。。。
- 後段の信号処理に PF-AR で調達した Libera を利用することが前提
  - PF-Ring(500.1MHz), PF-AR(508.57MHz) の両方に対応
  - PFのID02挿入光源の増強時に、PF用に4回路導入
  - ARではBPMヘッド86台のBPM+予備1で87個のLiberaを所有
  - BPMヘッド86台のうち3台はCOD補正には使っていない：次ページ
  - さらに古い Libera Brilliance が2台ある。

以上を合算すると、10回路は調達可能

# 一覧：CSSパネル

- $21 \times 4 + 2 = 86$  台のBPMが存在。3台はCOD測定から除外。計83台



## 単に、デジタイザとして使用する

- Libera Brilliance Plus



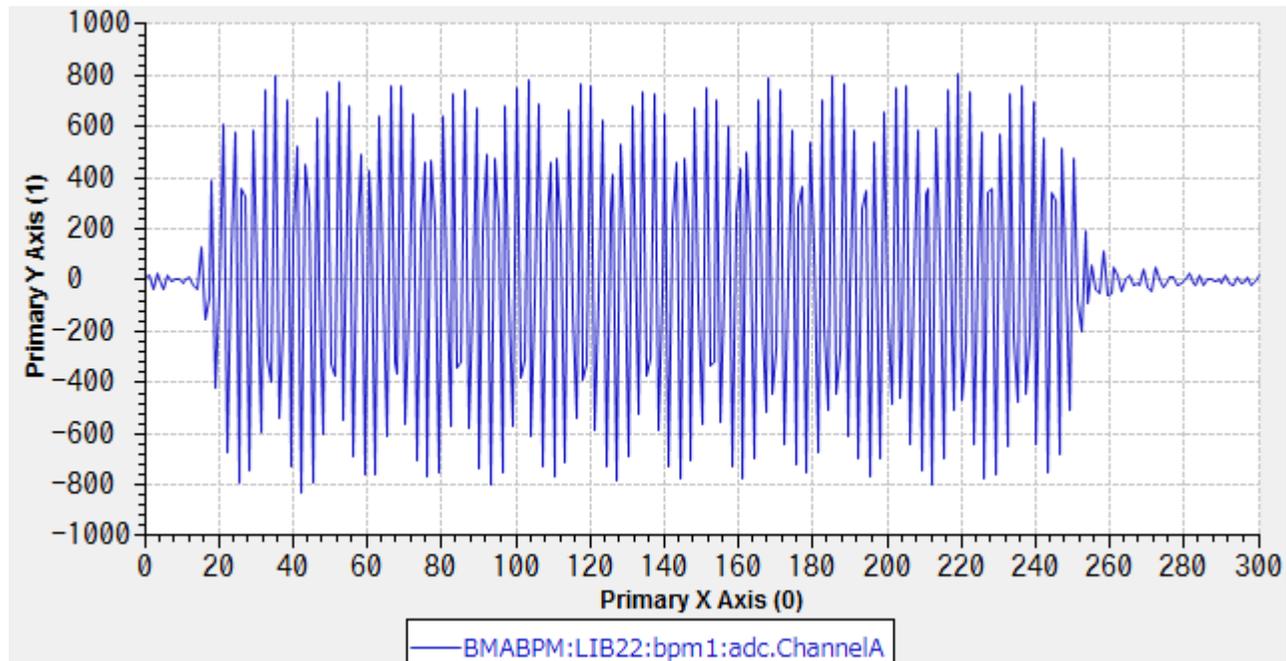
- Libera Brilliance



revolution frequency が違うので、Turn-by-Turn等には使えない。  
デジタイザとしては使用可能。CW時の平均的な位置計算(SAデータ)も使える  
外部トリガを入れてバースト波形が測定できることを確認。

# 1300 MHz burst 観測

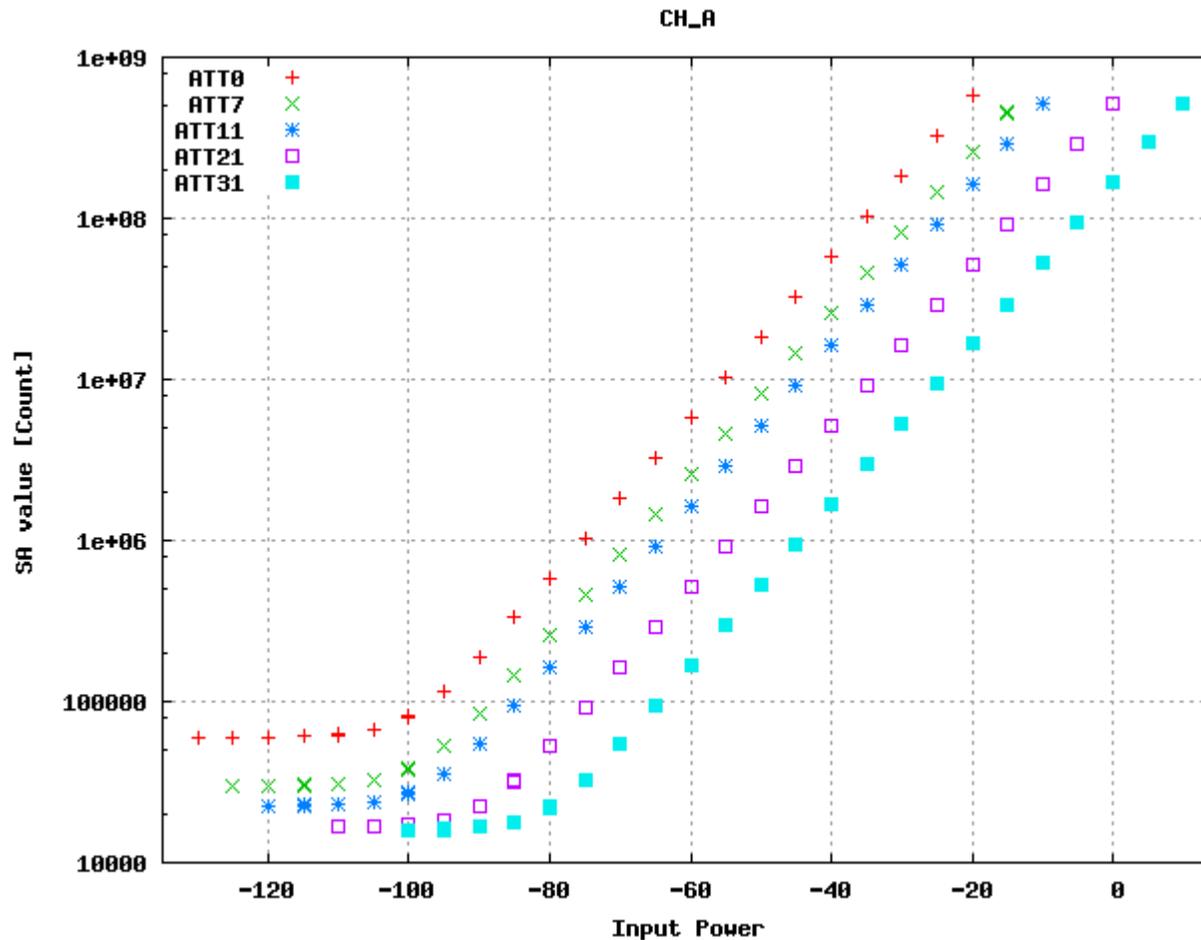
- 1300 MHz → 508 MHz変換後に Liberaで測定



- オフセットを取り除いて、2乗和を計算してパワー算出可能

# CW信号の測定

- Slow Acquisition データ：ATT を変えたときの振幅を log プロット



Attenuator を変えたとき、オフセットが変わって見えてしまう  
(CWビームならCross-bar Switch を有効にすれば補正できるが)

## まとめ

- いろいろと入り乱れて計算は多少面倒だが、
  - Log回路 6 + 10 + 11 台
  - 周波数変換器 10 台 (旧Libera が 1 台故障したので 9 台に)
  - 合計 37 台の手持ち回路
- 測定に必要な時間はどうなる？
  - 2 BPM の切り替えが残った
  - 6 個の SU で 12 台測定 + 31 台を常時測定 = 43 BPM をカバー
  - 6 BPM を切り替えるのに比べれば、1 / 3 の時間にはなる
  - ボタン電極 2 個は同期検波回路：テスト中
  - 一覧表は Excel を参照
  - 修理が完了するまで、AR から奪い取ってくるしかない？！

正直言って、何やっているんだか、という感は否めない

## 昨日のスライド

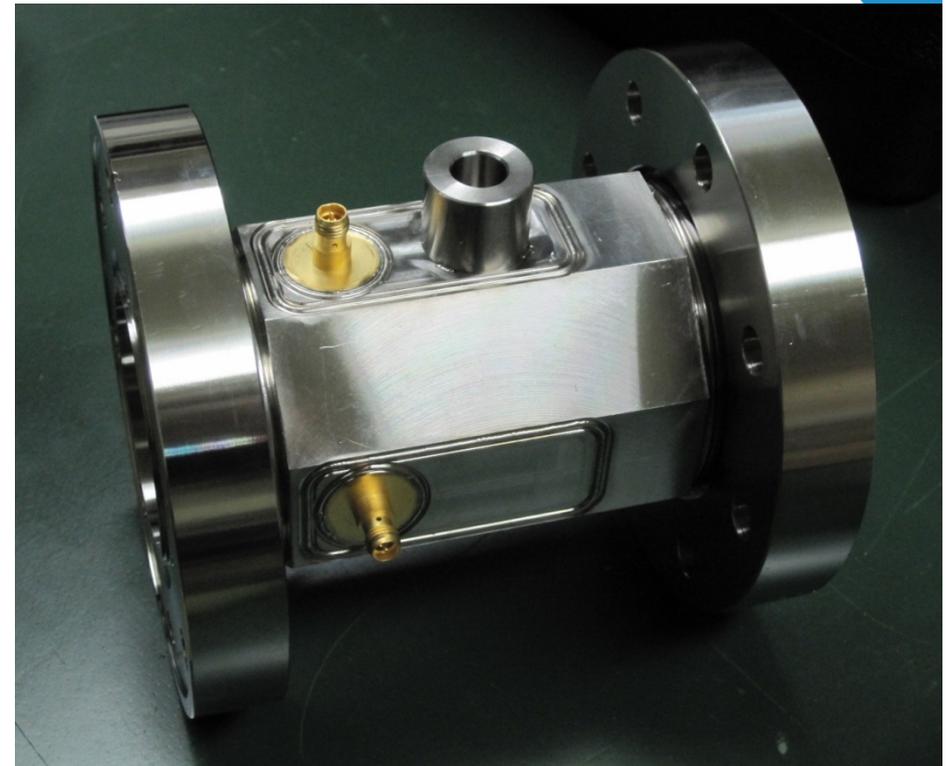
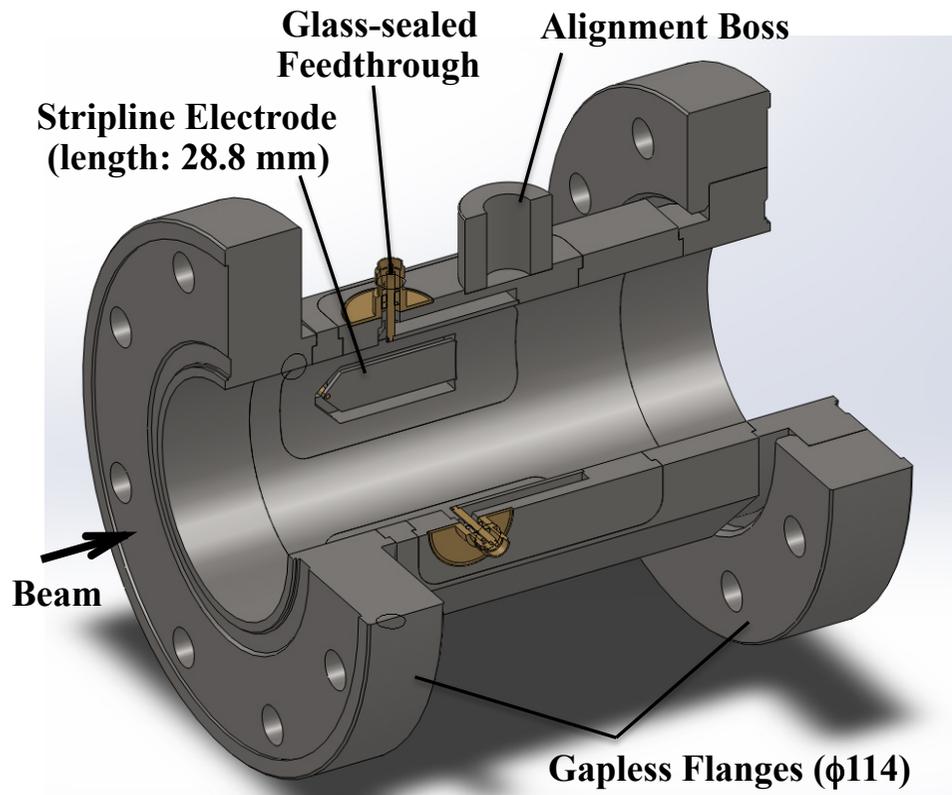
- cERLミニワークショップ 2015/01/20
- 高井さんの発表より、BPM関連を再掲

# ビーム位置モニター(BPM)

- ビームの重心位置を非破壊で計測できる
- 4電極の和信号によりビームロスポイントの推定も可能
- 微小電荷を検出できる感度と高速応答が必要  
⇒ ガラス封止フィードスルーを用いたストリップライン電極型B
- ダクトの内径や電極形状により下記の5つに大別される

| 設置場所    | ダクト | 電極                   | 台数 | 出力<br>[mVpp] | ロスファクター<br>[mV/pC] |
|---------|-----|----------------------|----|--------------|--------------------|
| 合流部・直線部 | Φ50 | Stripline<br>(Short) | 27 | 103.5        | 59.1               |
| 入射部・診断部 | Φ63 | Stripline<br>(Long)  | 4  | 88.6         | 48.3               |
| ダンプライン  | Φ85 | Stripline<br>(Long)  | 2  | 60.2         | 21.3               |
| アーク部    | 8角形 | Stripline<br>(Short) | 10 | 172.7        | 82.0               |
| LCS衝突点  | Φ50 | Button               | 2  | 75.1         | 26.1               |

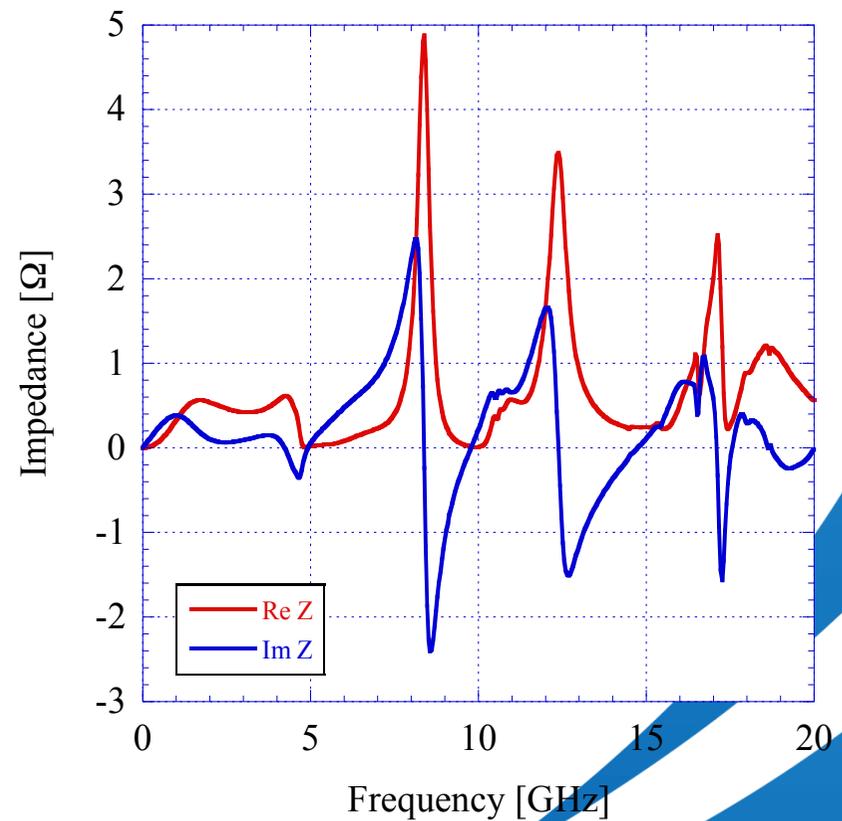
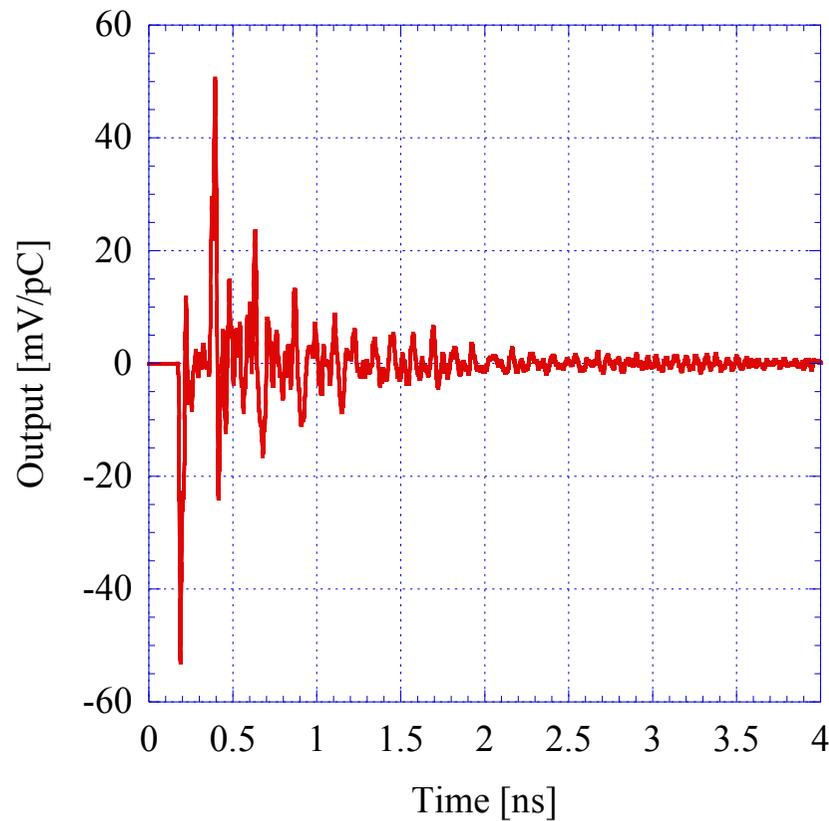
# 例) 直線部用BPMダクト



- ダクト内径: 50 mm, ダクト長: 125 mm
- 電極長: 28.8 mm (Short型) ⇒ 2.6 GHzで最大感度
- 電極幅: 8.8 mm (見込み角 20°)
- 特性インピーダンス: 50 Ω (TDRで検証済み)
- ギャップレスフランジを使用
- 精密アライメント用ターゲット座付き

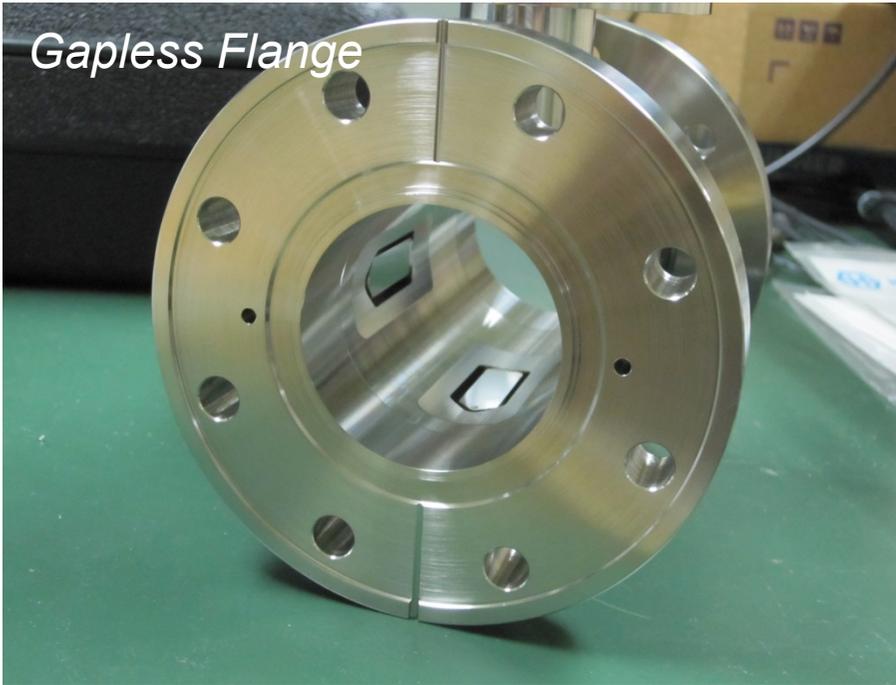
# 進行方向ロスファクターの計算

- GdfidLを利用
- バンチ長: 1 mm (3.3 ps), バンチ電荷: 1 pC を想定
- 直線部用BPMダクト (Short型) の場合

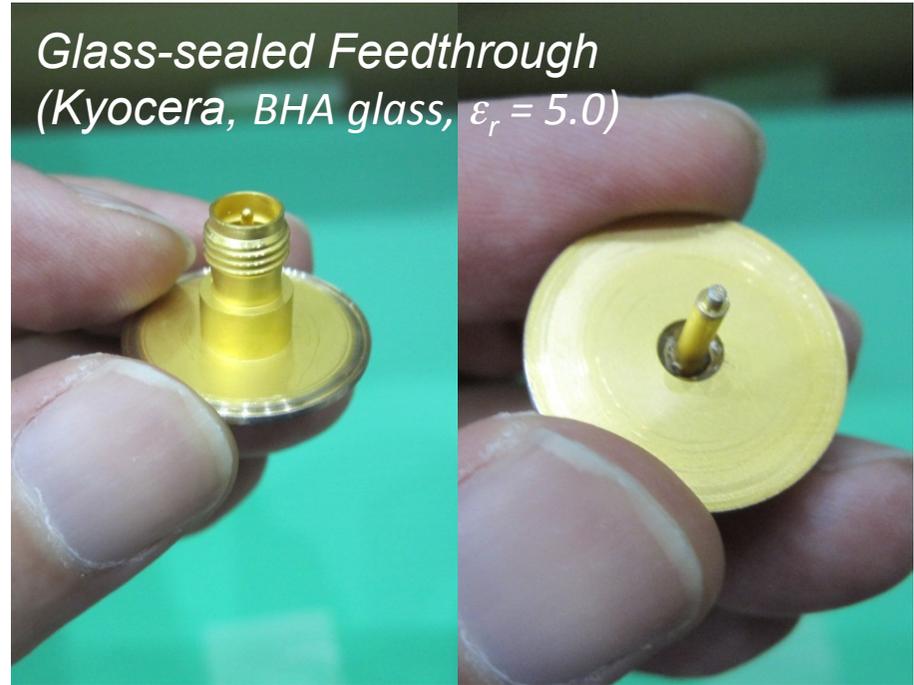


- Loss factor: 59.1 mV/pC
- Power loss: 4.6 mW @10 mA

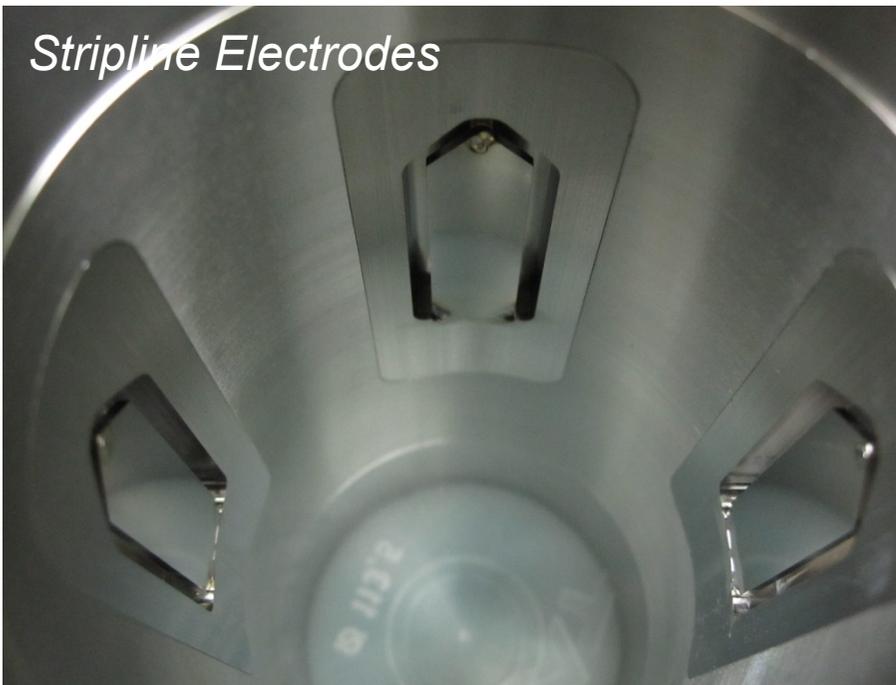
*Gapless Flange*



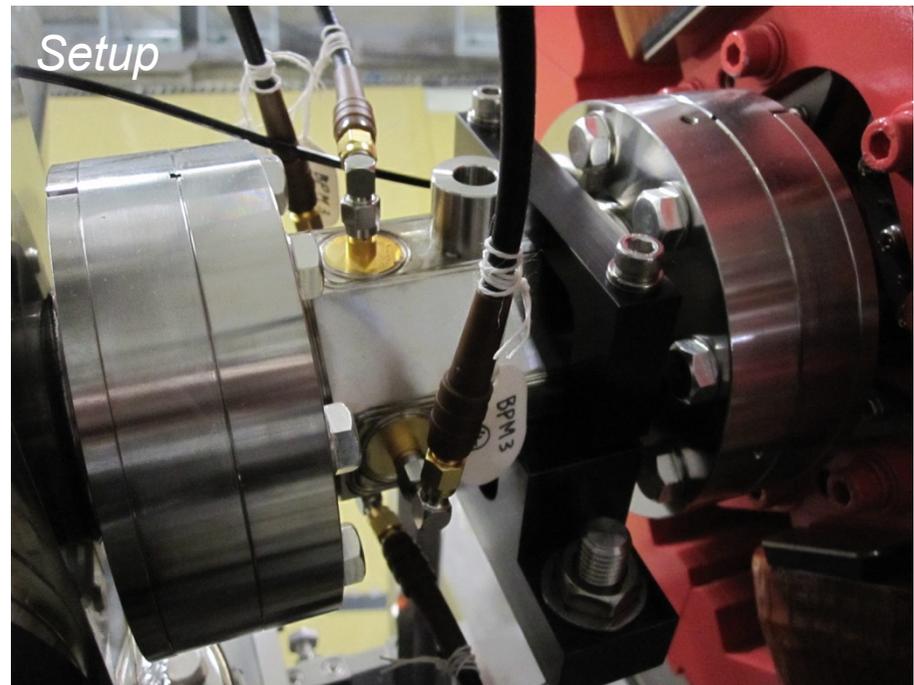
*Glass-sealed Feedthrough  
(Kyocera, BHA glass,  $\epsilon_r = 5.0$ )*



*Stripline Electrodes*

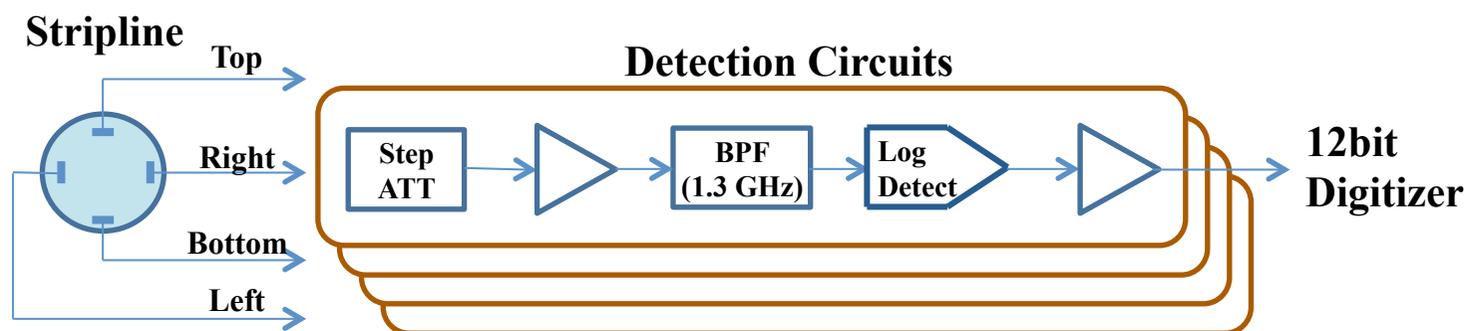


*Setup*

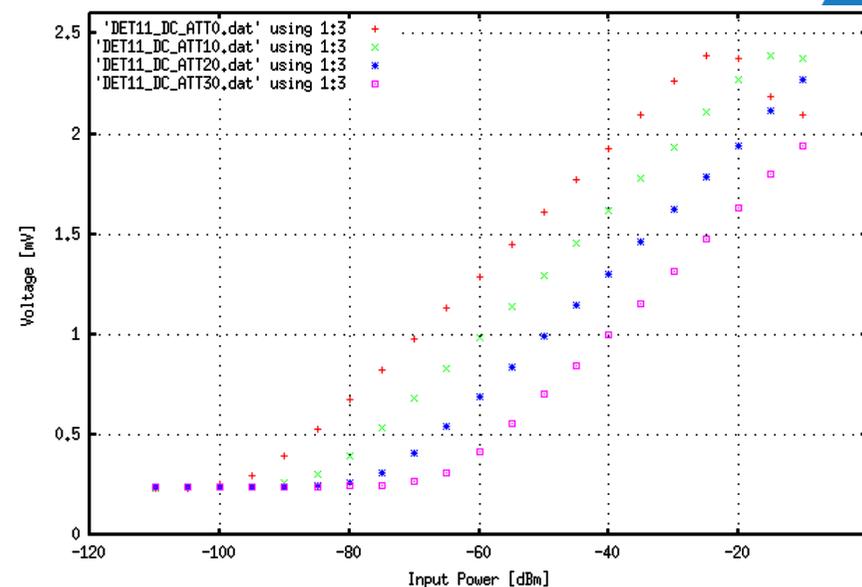


# 検波回路

- できるだけ広いダイナミックレンジ
- 個別のバンドごとに位置を測定する必要はない
- 測定精度よりもコミッショニング初期から使えることを優先
- できるだけ低コスト ⇒ ログ検波回路



- 帯域幅: 10 MHz
- 中心周波数: 1.3 GHzで統一 (アーク部BPMダクトのカットオフ周波数: ~2.6 GHz)
- 入力段の可変アッテネータを0 dBに設定した場合、-90~-30 dBmの入力レベルに対してLog-Linearに応答
- パルス入力に対する立ち上がり時間: ~200 ns



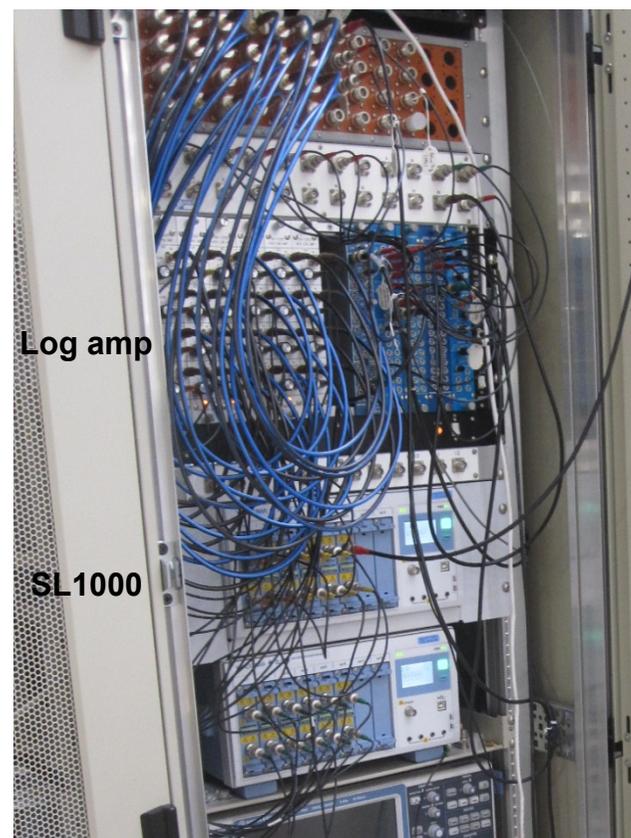
# デジタイザ

- 十分なサンプリング速度, アナログ帯域, ビット数, チャンネル数
- 省スペース, 低コスト
- 汎用性 ⇒ 市販の高速データアキュジションユニット“SL1000”  
+ 絶縁入



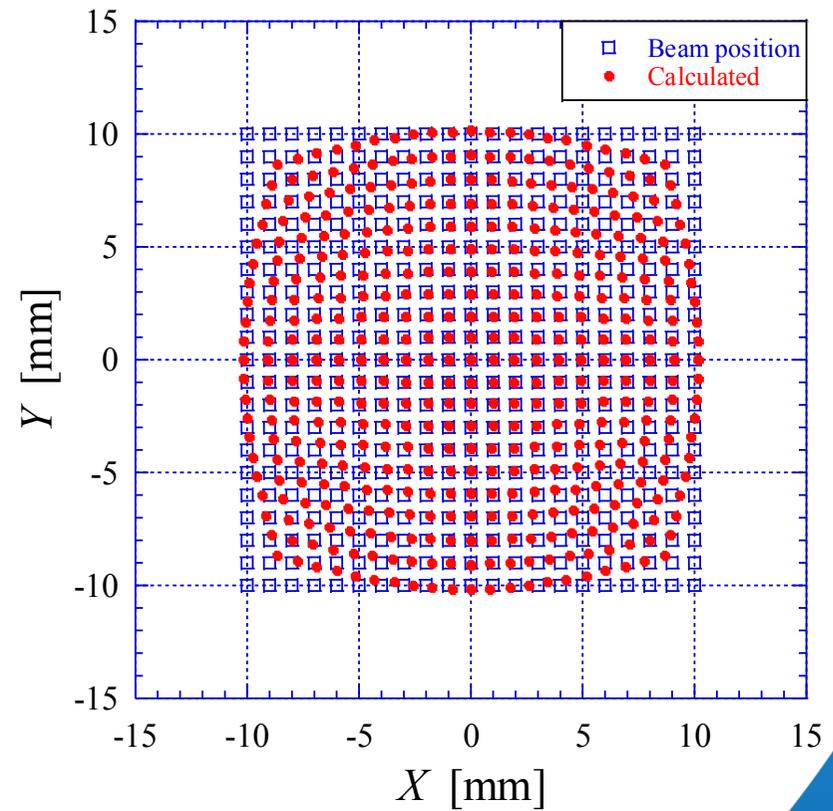
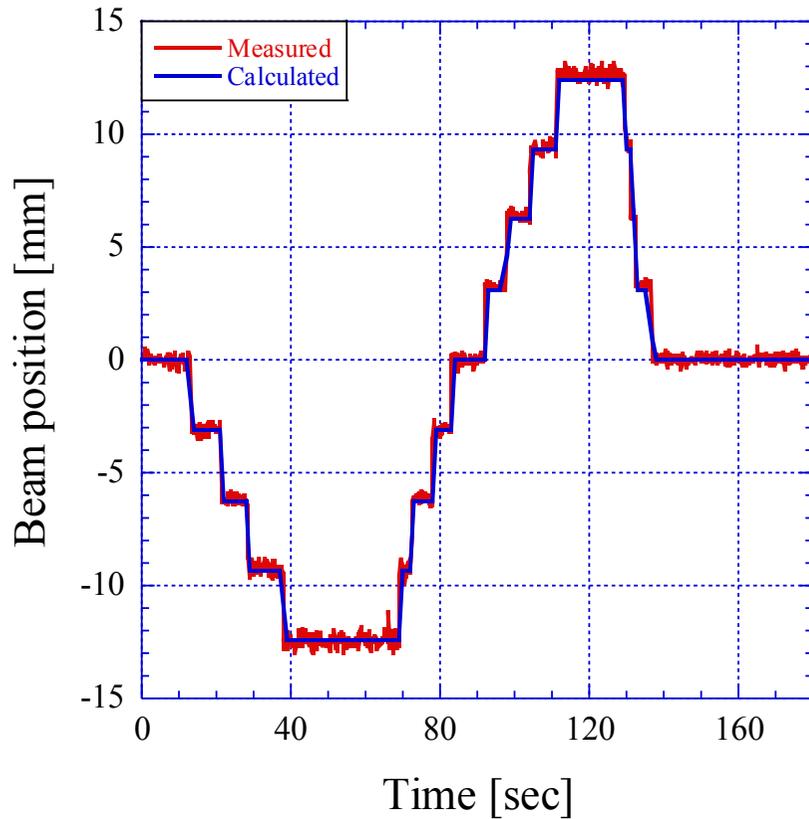
SL1000 (横河電機)

- 十分広いアナログ帯域と12ビットの分解能
- サンプリング速度: 100 MS/s
- EPICSによる遠隔制御が容易
- FC出力のデジタイズや他の波形解析にも利用可



制御ラックの様子

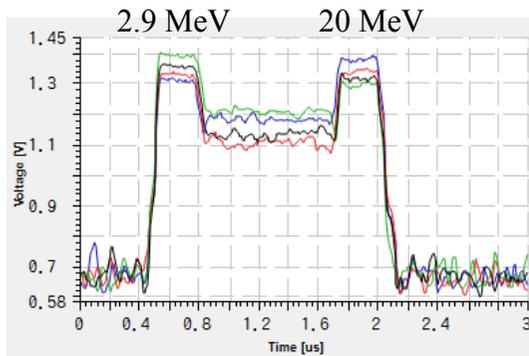
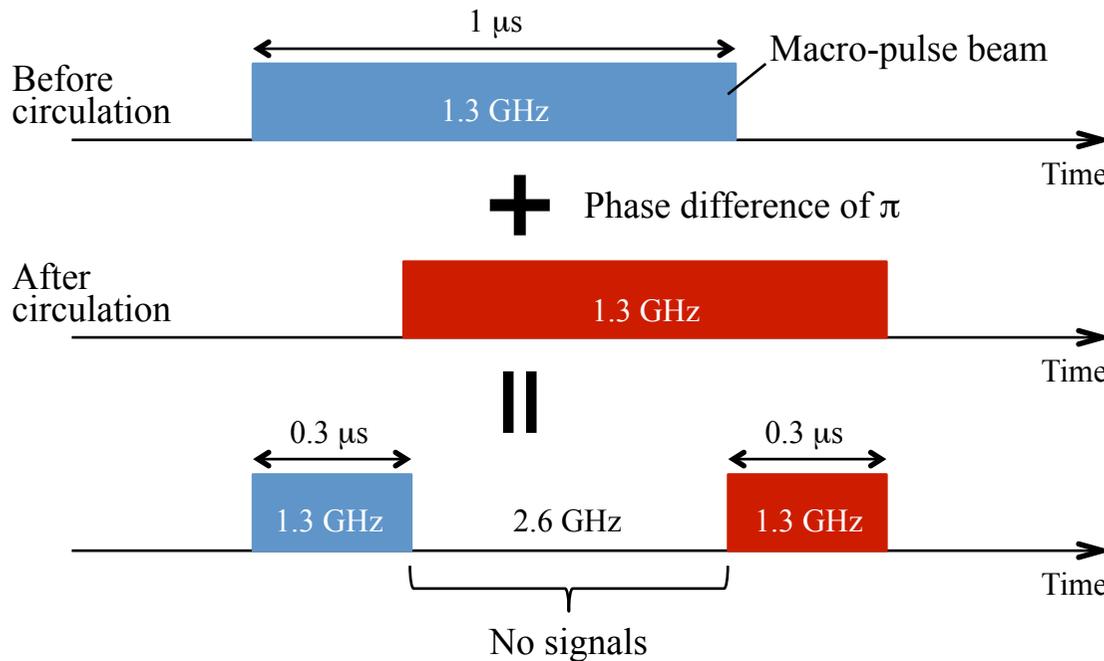
# BPM Calibration



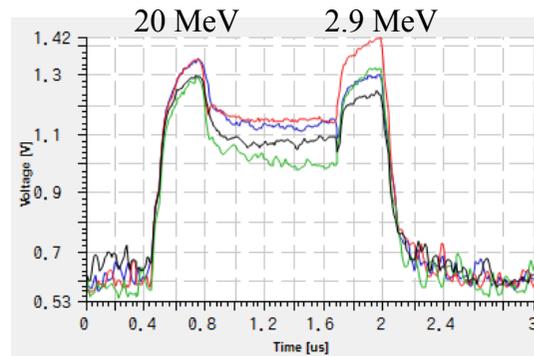
- 上流のステアリング電磁石でビームの重心位置を階段状に変化させた
- 赤: BPMで測定したビーム位置  
青: SCMIによる測定から得られたビーム位置
- 測定値のばらつきからBPMの分解能を評価  
⇒  $\sim 150 \mu\text{m}$  (ビーム軌道のジッターを含む)

- 検出信号を平均する時間幅を増やせば分解能は上がる
- 検出信号をビーム位置に変換する感度曲線の計算にはCST Particle Studioを利用
- 5次の多項式でフィッティング

# BPMを利用した2カラービームの同時測定



Upstream of Main Linac



Downstream of Main Linac

- 合流部からダンプシケインまでの区間では加速前のビームと加速後のビームが共存するため、加速後のビームを観測するのに破壊型のビームモニターは使用できない
- 工夫例) 穴開きスクリーン, 高速ゲートスイッチ等

⇒ BPMを利用した

シンプルで

確実な方法を考案

- 加速後ビームの信号は加速前ビームの信号に周回時間分( $\sim 300$  ns)だけ遅延して重なる
- 先頭には加速前ビームからの信号、後尾には加速後ビームからの信号のみ現れる
- 両者の間の2.6GHz信号は検波回路内のBPFによって取り除かれる
- 実際には主加速空洞からの距離に比例してビームの位相差が $180^\circ$ からずれるため、有限の信号が観測される
- 逆に言えば、この区間の信号はビームの位相モニターとして利用できる

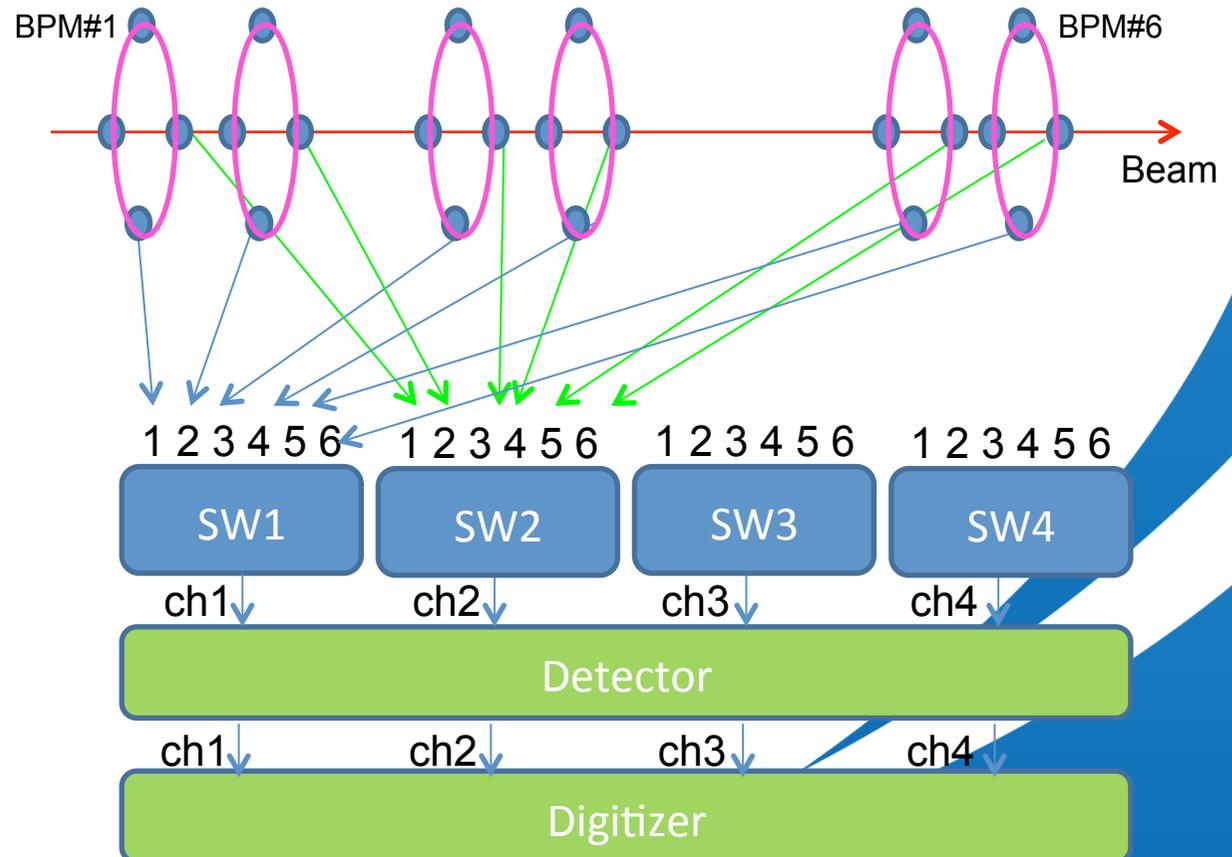
CWビームの場合でもビームのない区間を周期的に設ければこの方法を利用できる!

# 今後の予定

- 予算の都合上、ログ検波回路の数が不足している
- 現状: BPM 43台 ⇔ 回路 16台
- PF-ARで使用していた同軸スイッチによる切り替え方式を臨時採用
- 1台の回路で6台分のBPM信号を処理 ⇒ 全BPMの切替に約30秒



SP6T同軸スイッチ (Teledyne)



# 今後の予定

- 今期は検波回路を11台追加（計27台）
- さらに“周波数変換器（1.3 GHz ⇒ 508 MHz）+ Libera”を10台利用
- BPM 45台 ⇔ 回路 37台

⇒ 測定時間が10秒程度

に改善する見込み

- ネットワーク帯域の問題（対策は検討済み）
- アーク部の入口と出口にビーム位相モニターを設置（IQ検波 or 同期検波）
- 検波方式の変更による高精度化（Log検波 ⇒ 同期検波へ）