

FPR060

# KEK電子陽電子入射器の 高周波モニタシステムの校正

○片桐 広明, 荒川 大, 松本 利広, 三浦 孝子, 矢野 喜治

高エネルギー加速器研究機構

# 要旨

## ■ 電子陽電子入射器で同時入射運転に対応するRFモニターシステムを運用中

- RF信号からアナログIQ検出器によりベースバンドに変換したIQ信号を14bit でサンプリングし、振幅/位相に変換
- 振幅測定値は14bit符号無し整数で扱っている
  - 50Hzで確実にデータ取得するため、演算速度を重視
  - RFケーブルや入力電力調整用の減衰器を交換すると、測定値が変化し紛らわしい
- ユーザーに分かりやすい実電力表示(MW)で提供する

## ■ 実電力(MW)変換のために必要な作業

- ベーテホールカプラ結合度管理
- RFケーブル、固定減衰器などの減衰量校正
- 長距離伝送RFケーブルの減衰量校正
- RFモニタユニットの入出力特性の校正

# 高周波モニタシステム

## ■ システムの構成

### □ RFモニタユニット

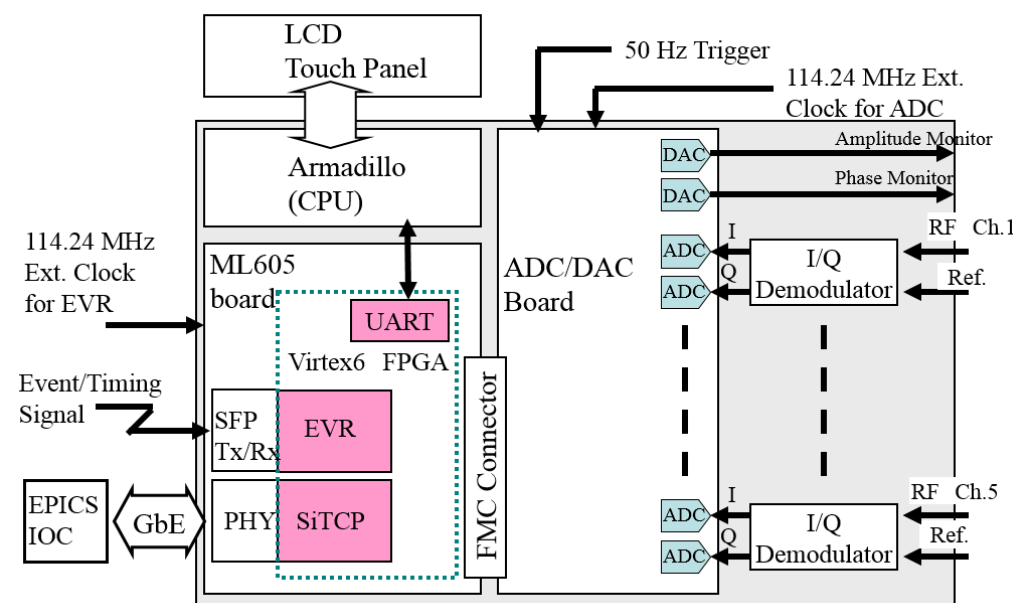
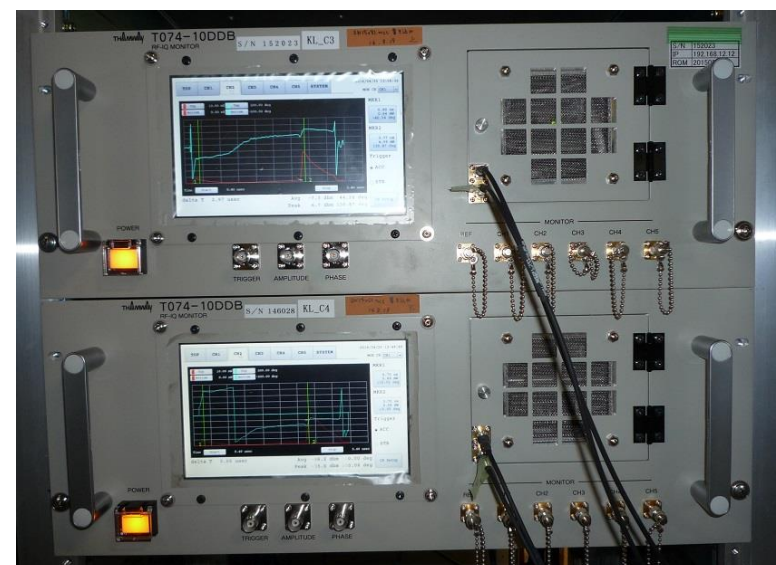
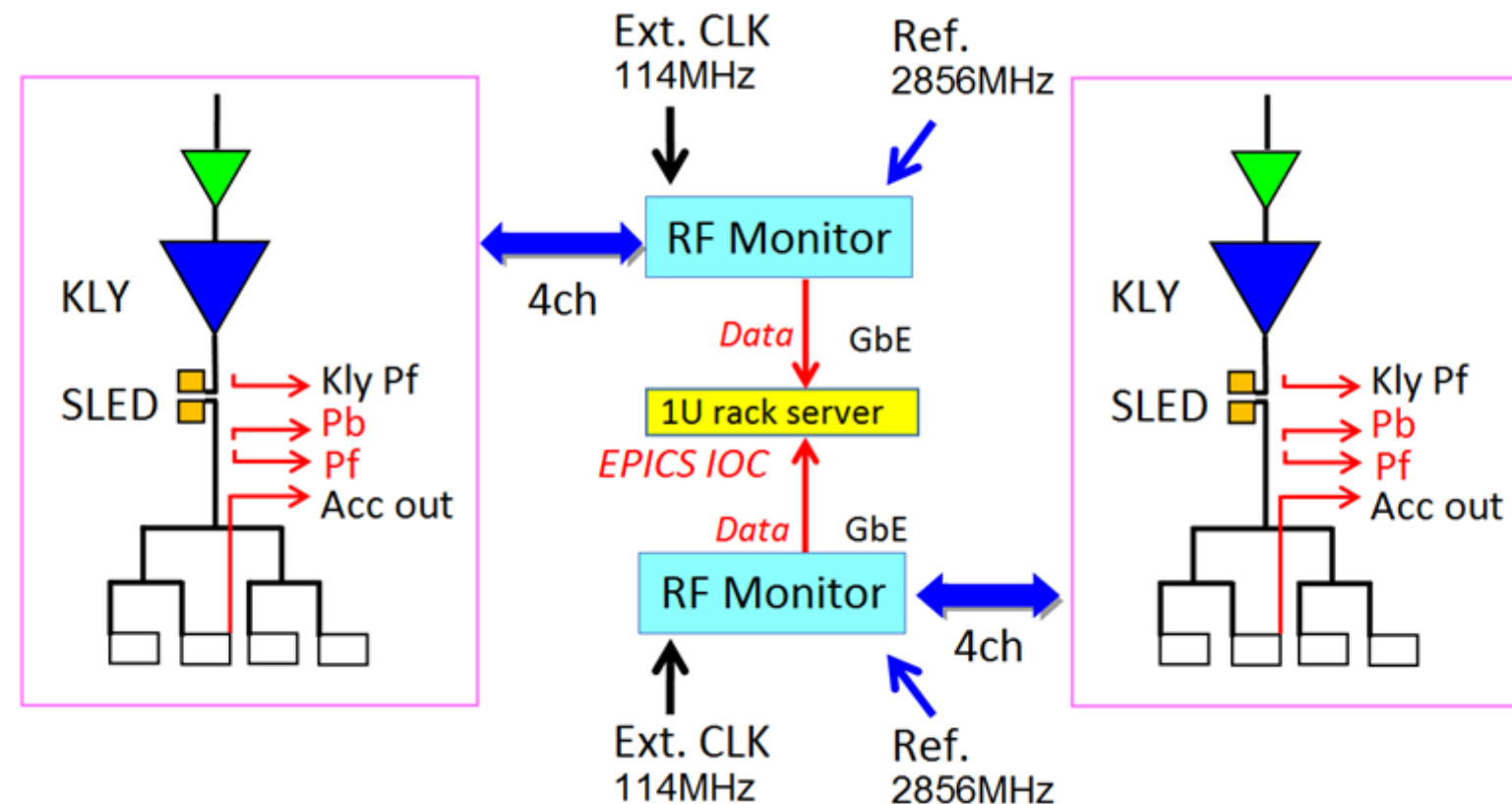
- 4系統の信号を常時測定
- 50Hz データ取得
- ビームモード識別
- 測定安定度
  - 振幅: 0.1% rms
  - 位相: 0.1度rms

### □ サーバー(EPICS IOC)

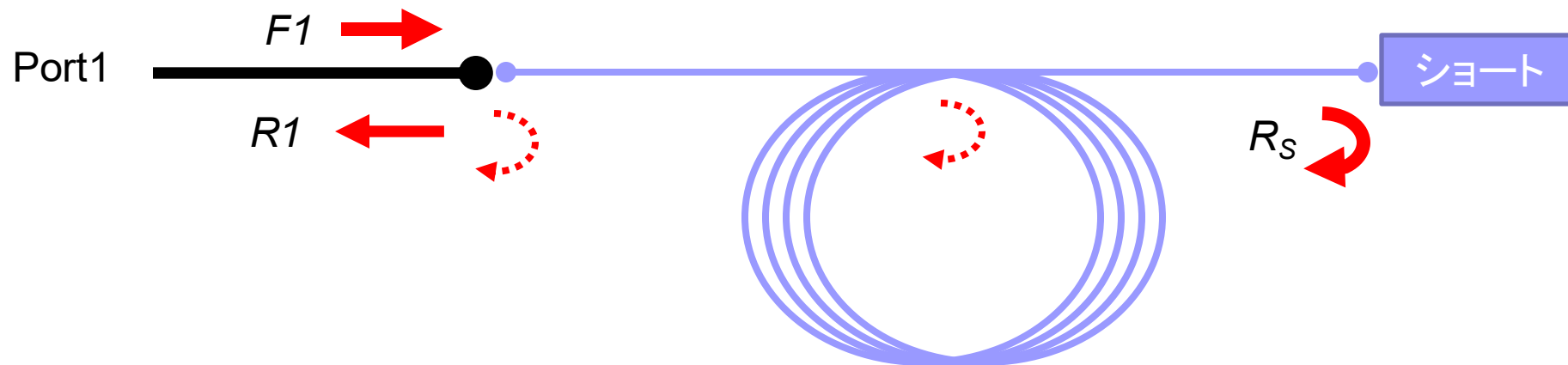
- I/Q > 振幅・位相変換
- 統計処理・定時データ保存
- 異常検出時データ保存

## ■ RFモニタユニット

- EVR(イベントレシーバ)
  - 8b/10b 高速シリアルI/F
  - Xilinx GTXで構成
- SiTCP
  - FPGA組み込みGbE



# ネットワークアナライザS11によるケーブル減衰量測定方法




長距離敷設したケーブル(入射器トンネルから地上部など)はS21で透過波測定ができないため、S11で終端をショートして全反射させ、Port 1への反射係数からロスを求める

- ・ショート端反射( $R_s$ ) の位相を360度振ると反射係数はPolar表示で円を描き、その半径から正確なロスが求められる
- ・トロンボーン型移相器で位相を振る方法を試したが、2856MHzでは精度が低く測定にも時間がかかる

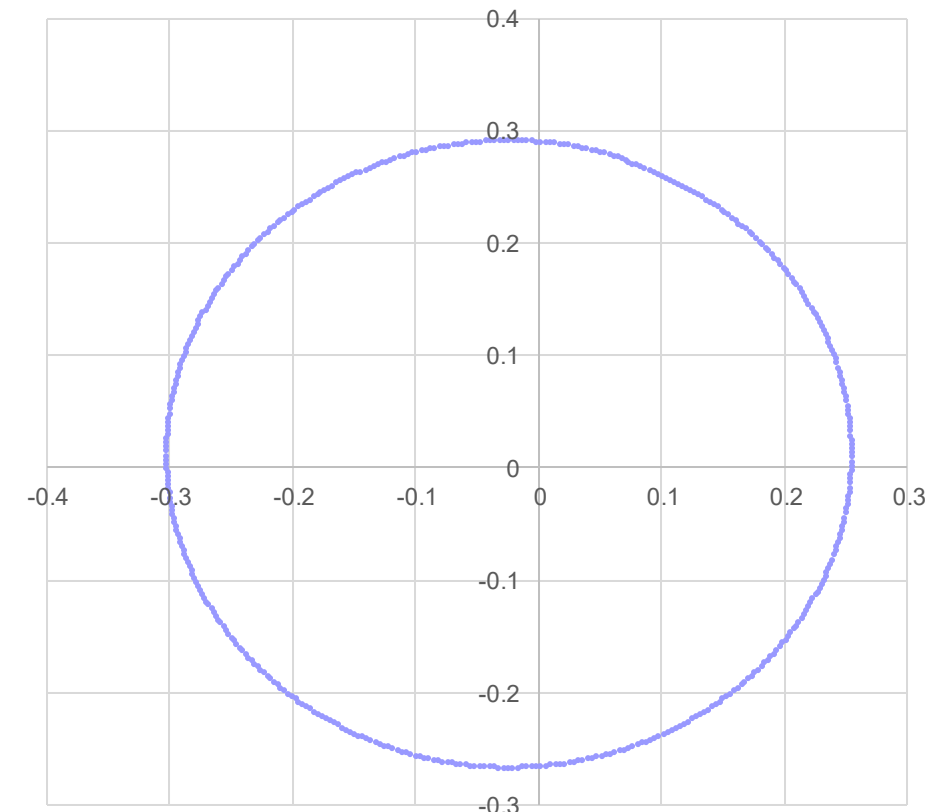
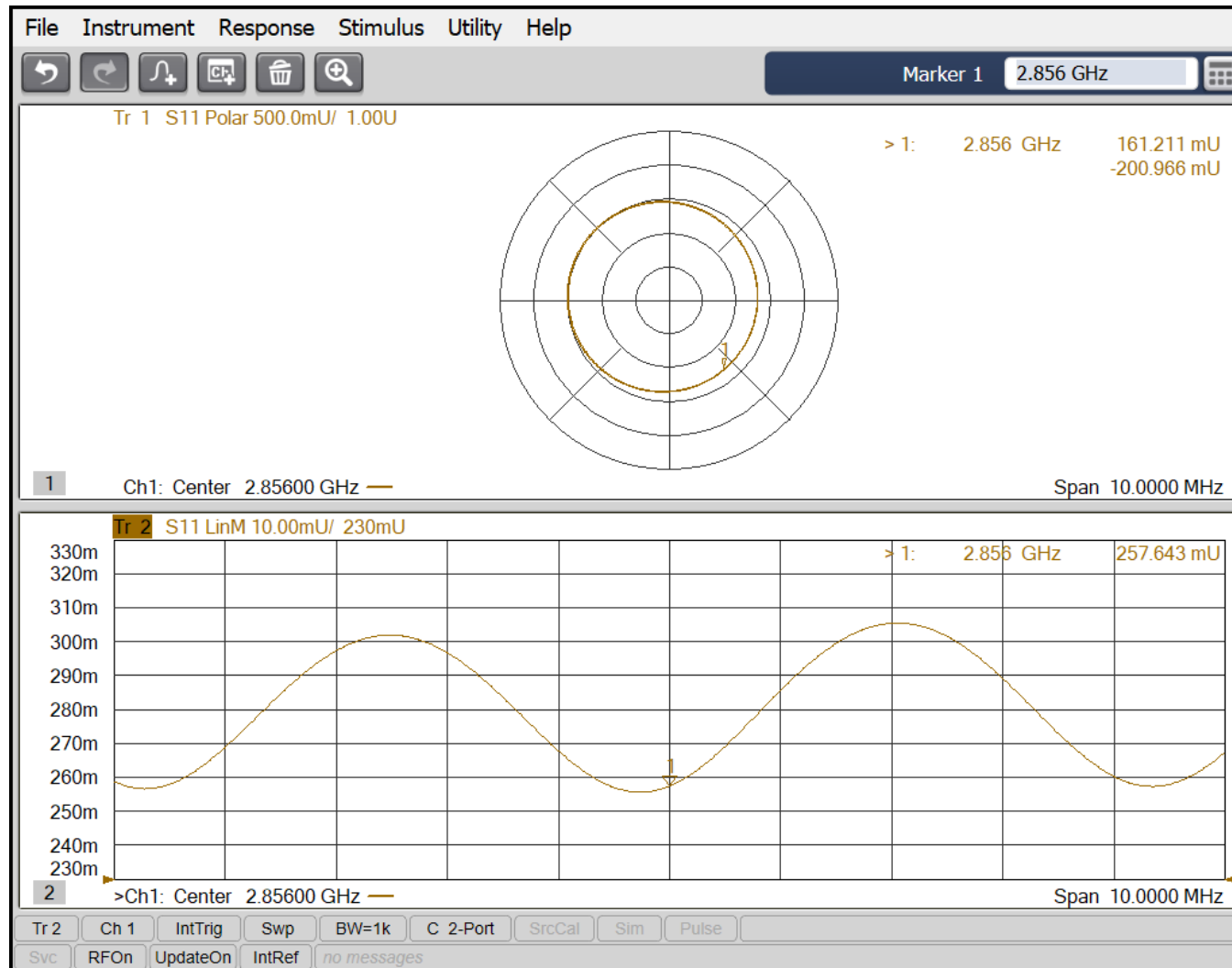
そこで、位相を振るのではなく、**周波数を変化させることで反射係数円を描かせる**方式を検証した

- ・サンプルとして約28mのコルゲートケーブル(LDF2RK-50)を用意
- ・波長短縮率85%とするとケーブル内波長、28mに収まる波長は  
2856MHz: 8.905cm、314.43波長  
2866MHz: 8.874cm、315.52波長  
10Mhz周波数を振ると約1.1波長相当分、位相を振るのと同等と予測

- ・S21測定での減衰量 **-5.538 dB** (これを基準とする)

Product Specifications		COMMSCOPE®
		on the go
LDF2RK-50 LDF2-50, HELIAX® Low Density Foam Coaxial Cable, corrugated copper, 3/8 in, black non-halogenated, fire retardant polyolefin jacket		
Construction Materials		
Jacket Material	Non-halogenated, fire retardant polyolefin	
Outer Conductor Material	Corrugated copper	
Dielectric Material	Foam PE	
Flexibility	Standard	
Inner Conductor Material	Copper-clad aluminum wire	
Jacket Color	Black	
Dimensions		
Nominal Size	3/8 in	
Cable Weight	0.08 lb/ft   0.12 kg/m	
Diameter Over Dielectric	8.636 mm   0.340 in	
Diameter Over Jacket	11.176 mm   0.440 in	
Inner Conductor OD	3.0480 mm   0.1200 in	
Outer Conductor OD	9.652 mm   0.380 in	
Electrical Specifications		
Cable Impedance	50 ohm ±1 ohm	
Capacitance	23.0 pF/ft   75.0 pF/m	
dc Resistance, Inner Conductor	1.060 ohms/kft   3.478 ohms/km	

# S11によるケーブル減衰量測定結果



	REAL	IMAG
最大	0.255249	0.290769
最小	-0.30201	-0.26712
円半径	0.278627	0.278943
原点	-0.04676	0.023652

周波数 Center 2856MHz, Span 10MHz に設定

- Polar表示で円が描かれていることを確認
- LinMagで、およそ2波長分変化していることを確認(往復で効く)

- S21に近い結果が得られた
- 位相を振る方法よりも短時間で測定できる
- ケーブル長が短くなると周波数スパンを大きくしなければならない

- Polar表示の実数部、虚数部の最大値・最小値から円半径を算出、さらにロスに換算する

円半径平均値: 0.278139865

LogMag換算値: -5.547303479 [dB]

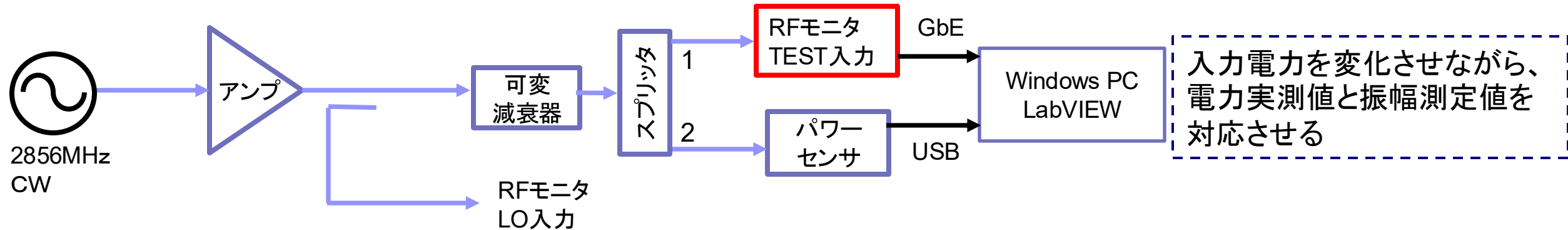
N型JJアダプタの減衰を差し引くと、

ケーブルの減衰 **-5.528303479 [dB]**

- S21の結果とは **0.01dB以下**の差となった

# RFモニタユニット入出力特性の校正

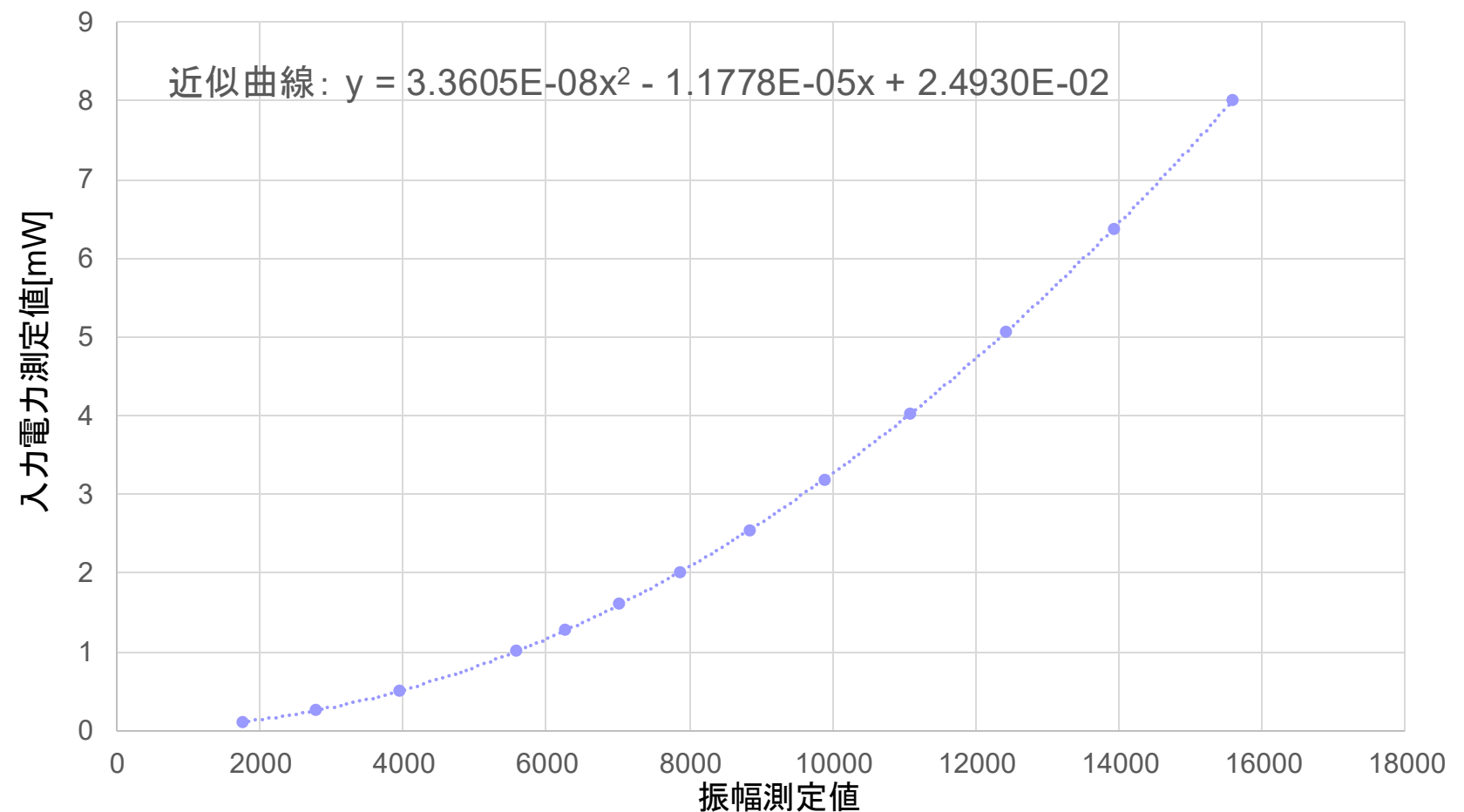
校正データ取得のブロック図



取得したデータ

振幅測定値	入力測定値[mW]
1743.895277	0.100925289
2786.033043	0.253512863
3944.061556	0.505824662
5578.409356	1.009252886
6258.472292	1.270574105
7023.795975	1.599558029
7869.854158	2.01372425
8827.323171	2.53512863
9888.117365	3.191537855
11077.37994	4.017908108
12412.6704	5.05824662
13921.03943	6.367955209
15592.86083	8.016780634

入力電力[mW] 対 振幅測定値



デジタル値から入力電力[mW]に変換するために近似曲線を使用

・近似曲線は Excel の多項式近似で二次関数を作成

・数式:  $y = (3.3605 * 10^{-8}) * x^2 - (1.1778 * 10^{-5}) * x + 0.0243$



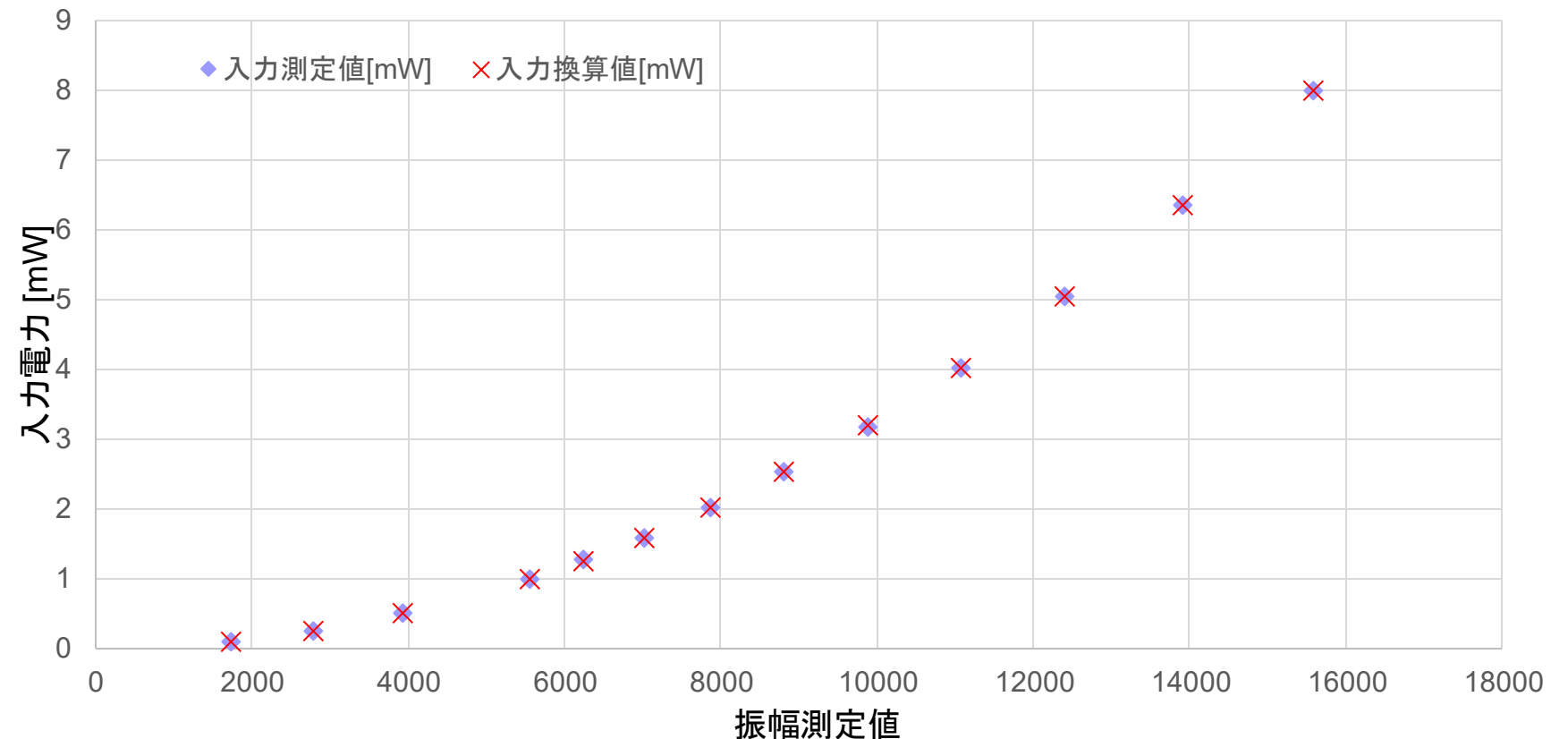
# 換算式で算出した電力値と実測値の差

## パワーセンサ測定値と換算値の差

振幅測定値	入力測定値 [mW]	入力換算値 [mW]	差[mW]
1743.895277	0.100925289	0.105958944	-0.00503
2786.033043	0.253512863	0.252327445	0.001185
3944.061556	0.505824662	0.500593505	0.005231
5578.409356	1.009252886	1.004339759	0.004913
6258.472292	1.270574105	1.26684433	0.00373
7023.795975	1.599558029	1.599433052	0.000125
7869.854158	2.01372425	2.012921241	0.000803
8827.323171	2.53512863	2.538888311	-0.00376
9888.117365	3.191537855	3.193562093	-0.00202
11077.37994	4.017908108	4.017444598	0.000464
12412.6704	5.05824662	5.055773323	0.002473
13921.03943	6.367955209	6.372830355	-0.00488
15592.86083	8.016780634	8.011276554	0.005504

入力測定値 [mW]	入力換算値 [mW]	差[%]
0.100925289	0.106588944	5.611731
0.253512863	0.252957445	-0.21909
0.505824662	0.501223505	-0.90963
1.009252886	1.004969759	-0.42439
1.270574105	1.26747433	-0.24397
1.599558029	1.600063052	0.031573
2.01372425	2.013551241	-0.00859
2.53512863	2.539518311	0.173154
3.191537855	3.194192093	0.083165
4.017908108	4.018074598	0.004144
5.05824662	5.056403323	-0.03644
6.367955209	6.373460355	0.086451
8.016780634	8.011906554	-0.0608

## パワーセンサ測定値と換算値の比較



## 入力電力測定値と換算値の差[%]



・-10dBm入力時の差が大きいですが、**常用領域では0.1%以下の差に収まる**

# 校正データの管理

1つのモニタ信号に対し6つのパラメータを用意する(データベース化作業中)

EOICS PV名	CPL	ATT1	ATT2	FA	FB	FC
内容	信号ピックアップ部カプラ結合度[dB]	RF計測ラックまでのケーブル減衰[dB]	ラック内ケーブル・減衰器など減衰[dB]	換算式の係数1	換算式の係数2	換算式の定数
KL_B2ユニット SLED Pfの例	70	4.1	30.5	3.3605E-08	-0.000011778	0.0243

入射器運転中の測定値を換算すると、約150 MW となった

## まとめ

- RFモニタユニットの測定値から実電力に換算する作業を進めている
- 長尺のRFケーブルは、ネットワークアナライザS11で周波数を振り反射係数から減衰量を算出
- パワーセンサによる実測値から求めた換算式で振幅測定値化を実電力に換算