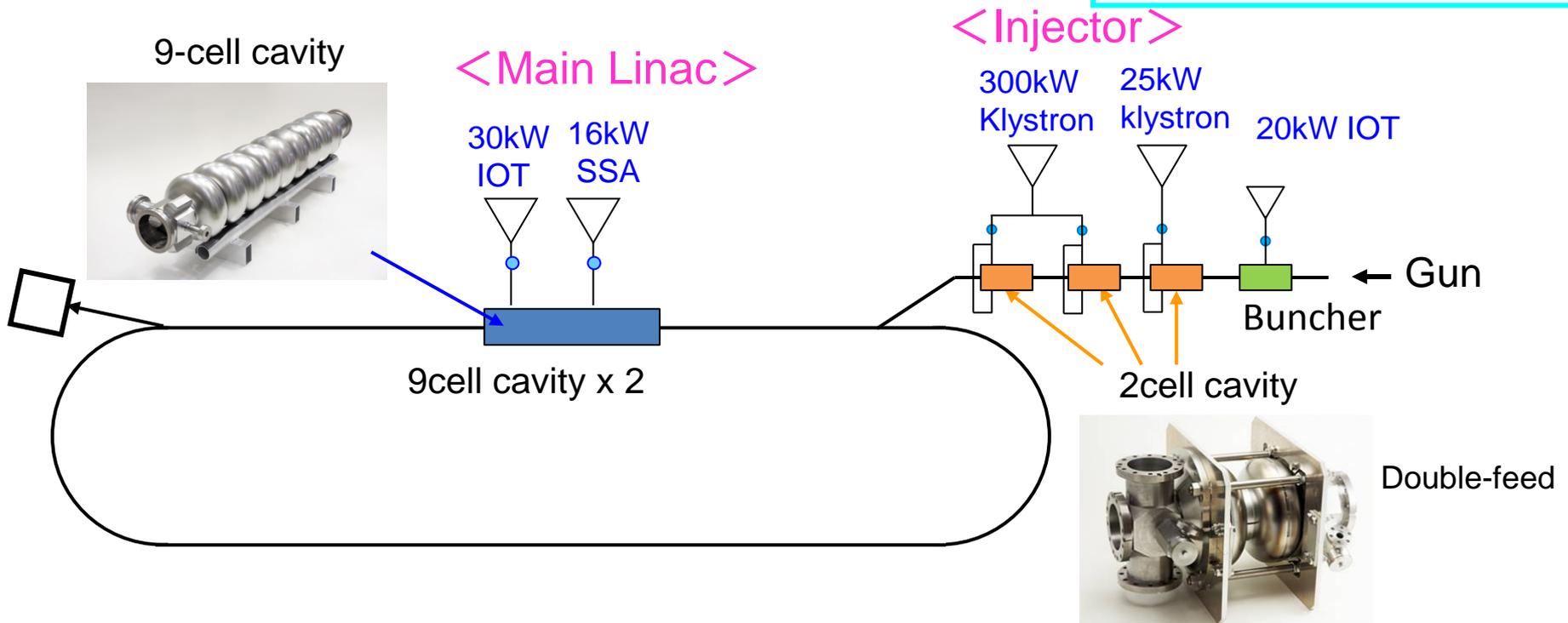


# RF源の最新報告

三浦

# RF power sources for cERL

Requirement of RF stability  
**0.1 % rms, 0.1 deg. rms**



**Parameters of RF System for the cERL (35 MeV, 10 mA version)**

Item	Unit	Buncher	Inj-1	Inj-2	Inj-3	ML-1	ML-2
Structure		NC	SC	SC	SC	SC	SC
Gradient	MV	0.14	1	2	2	15	15
$Q_L$			$5 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	$2 \times 10^7$	$2 \times 10^7$
Beam Phase	degree	-90	-15 to -30	-10	-10	0	0
Power Required	kW	4.5	10	37	37	11	11
Power Output	kW	6.2	17	122		20	20
RF Source		IOT	Klystron	Klystron		SSA	IOT
Power Available	kW	20	25	300		16	30

20 kW CW IOT



25 kW CW Klystron



300 kW CW Klystron



16 kW Solid State Amp.



地絡対策中

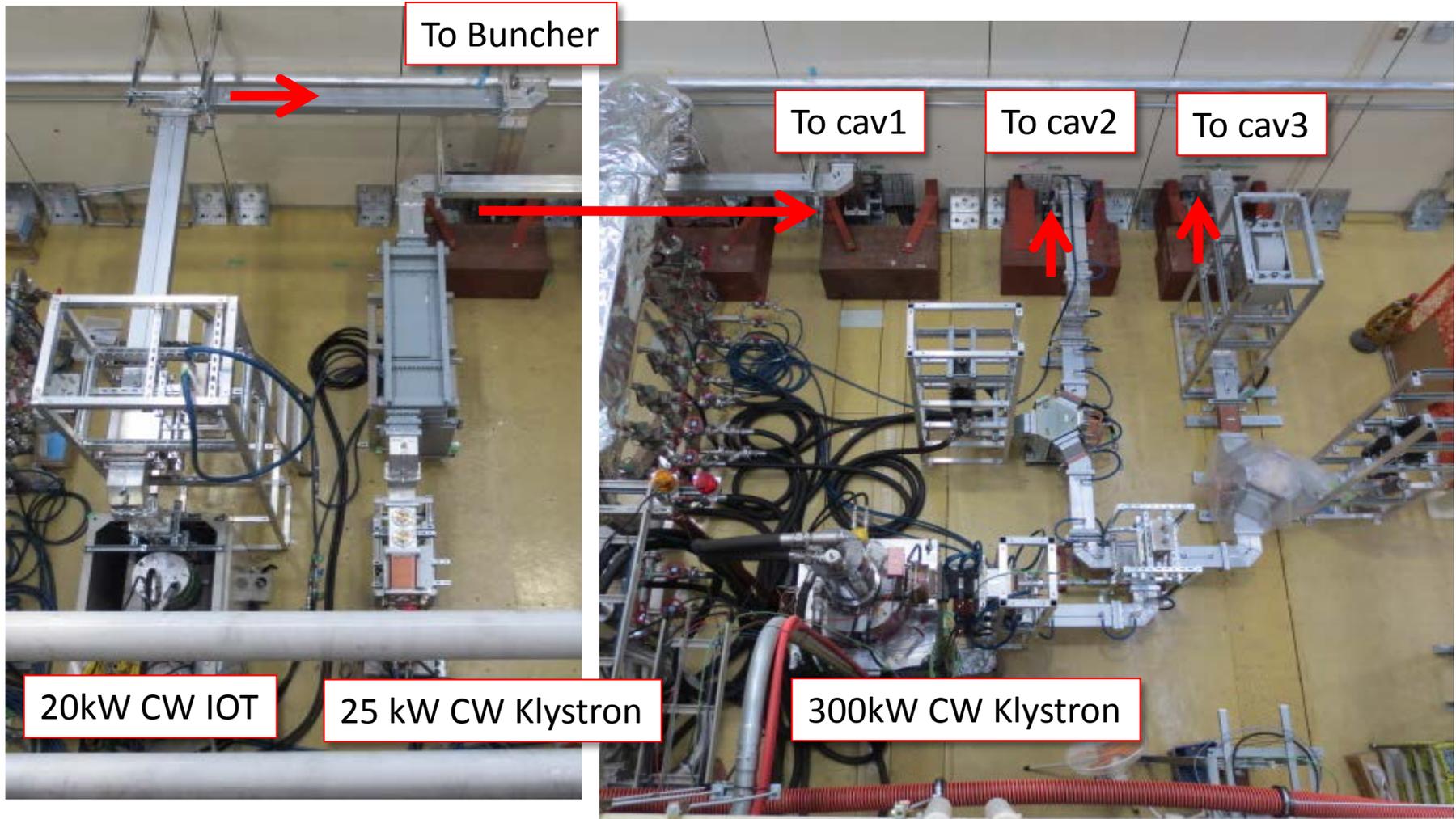
30 kW CW IOT



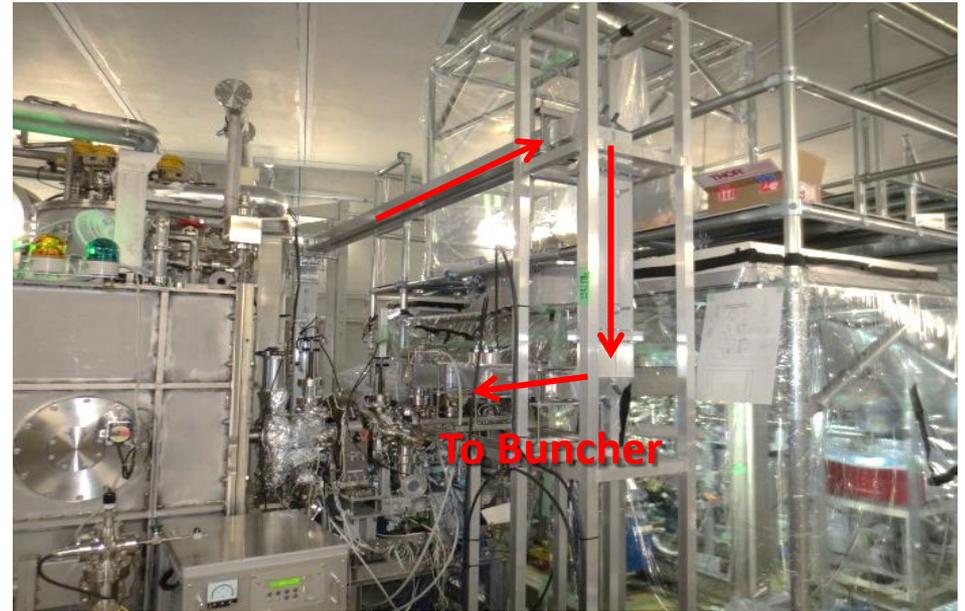
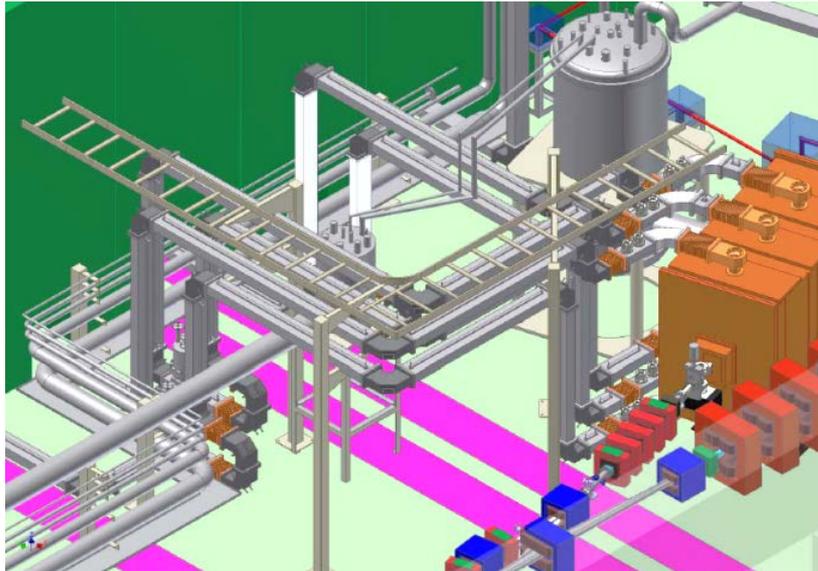
8 kW Solid State Amp.

11月末に納品予定

# RF power distribution system for Injector (outside shield)



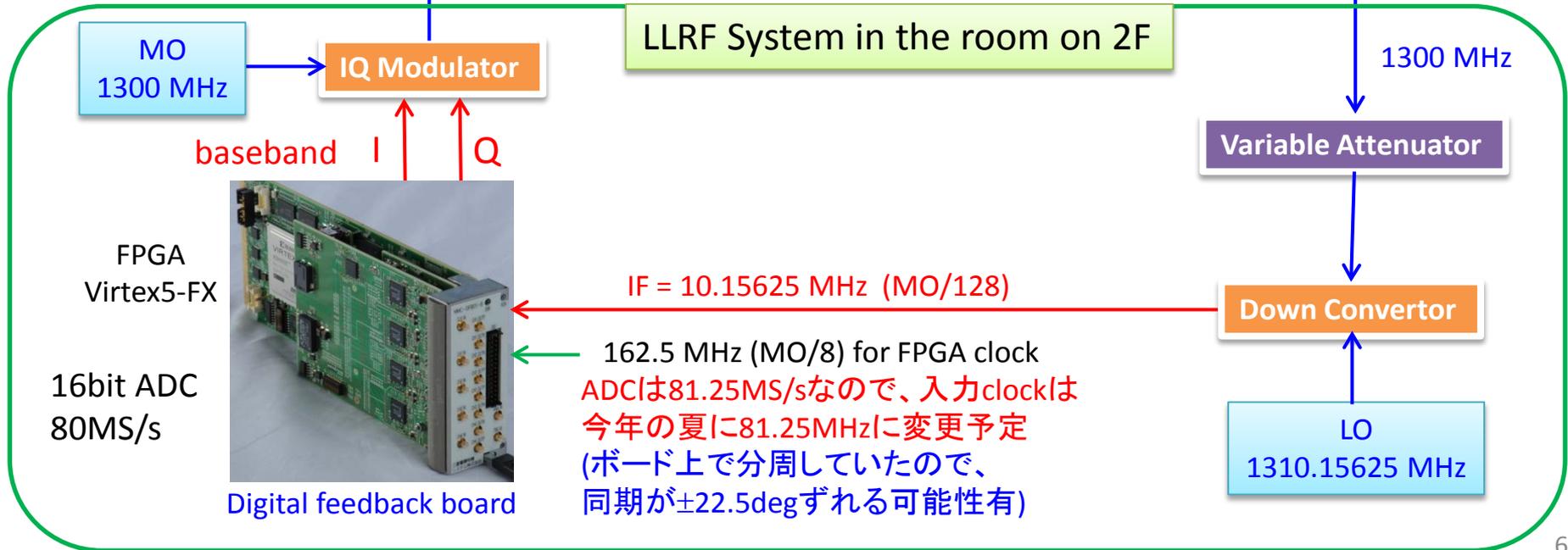
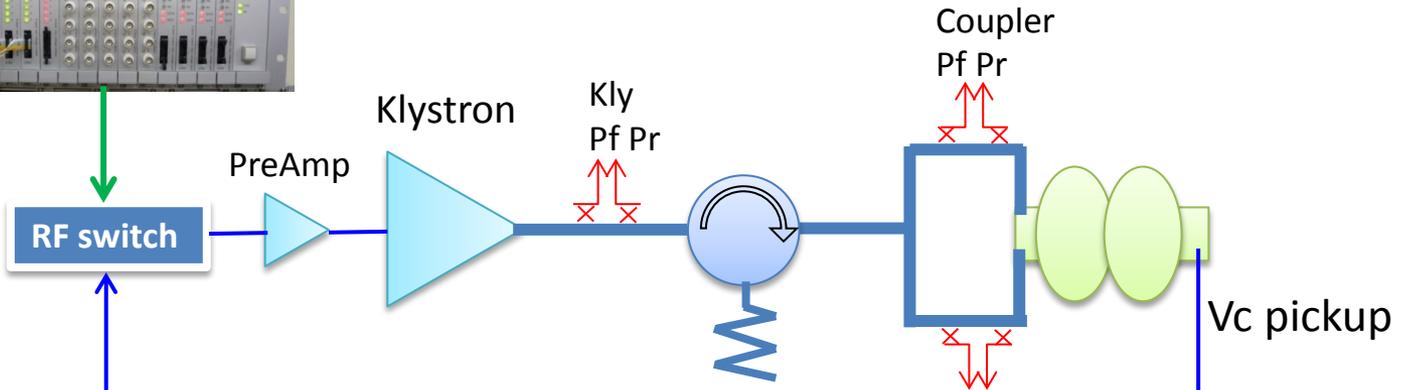
# RF power distribution system (Inside shield)



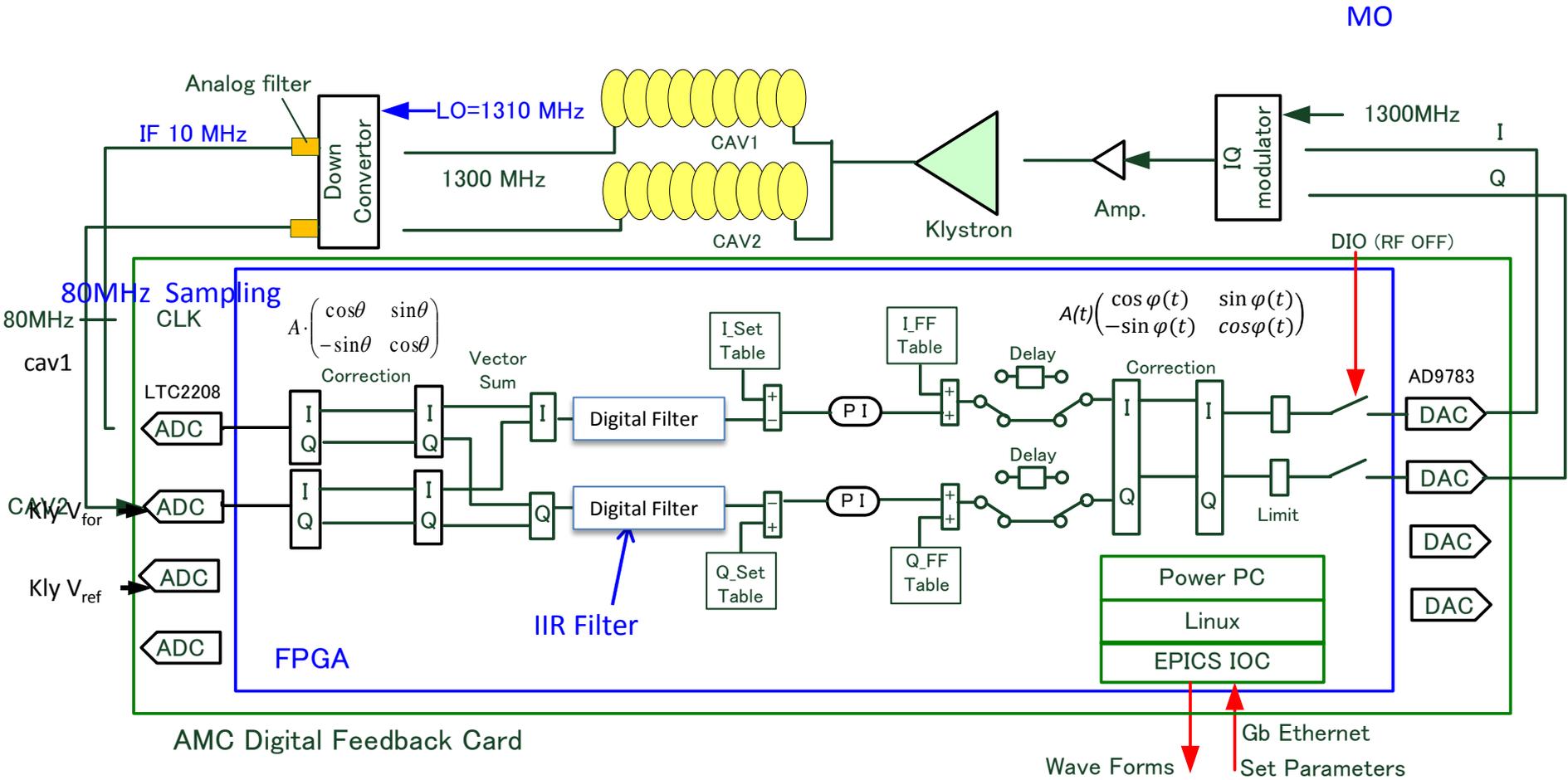
# Schematic diagram of RF System

- Arc Sensor
- Vacuum of Cavity
- Pf,Pr Limits
- Water
- External Interlock etc.

Interlock Module

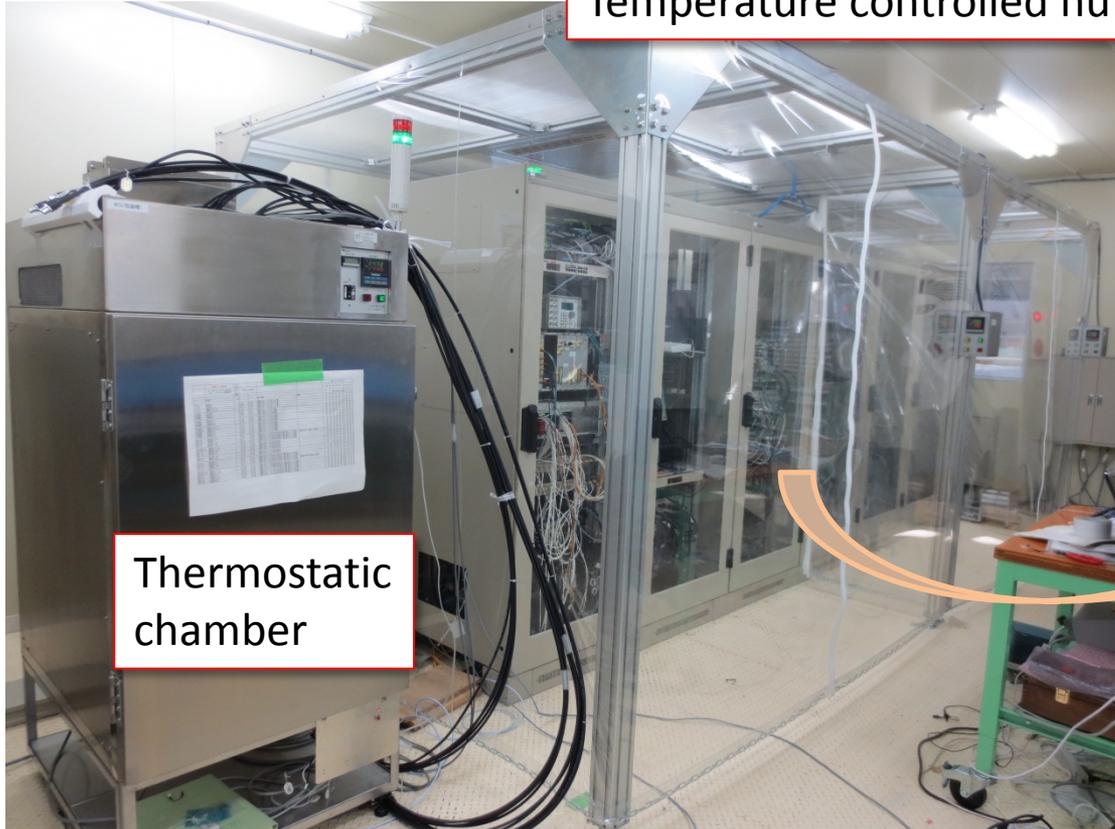


# Schematic diagram of digital LLRF System



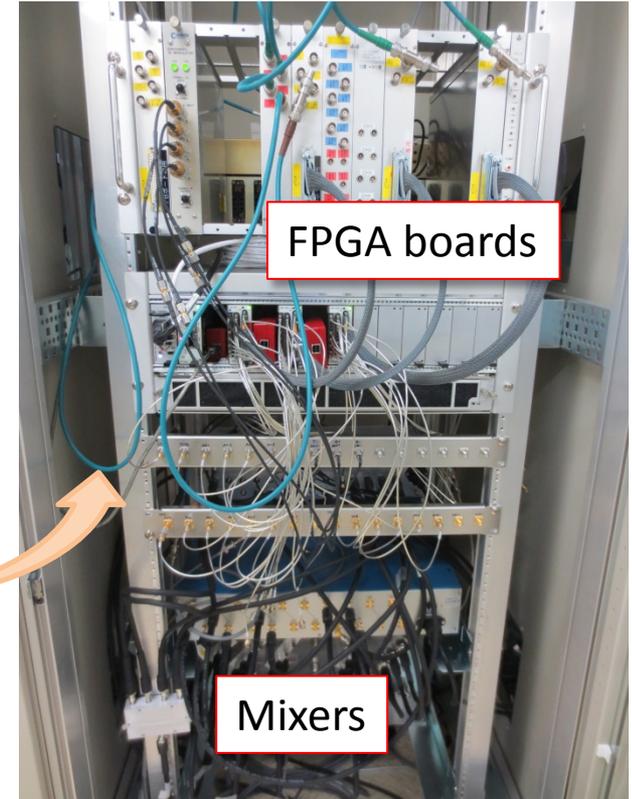
# Temperature stabilization of LLRF system

Temperature controlled hut



Thermostatic chamber

FPGA boards



Mixers

- Master oscillator (1.3 GHz) , Local oscillator (1.31 GHz), clocks are generated inside thermostat chamber (stability:~0.03deg.)
- FPGA boards and Mixers are located inside temperature controlled hut (stability:~0.3deg.)

# RF Parameters in Current Operation at Injector

2013/4/16~ 6月末

Item	Buncher	Inj-1	Inj-2	Inj-3
	FB0	FB1	FB2	
Field Gradient		7 MV/m	7 MV/m	7 MV/m
Acc Voltage	114 kV	1.6 MV	1.6 MV	1.6 MV
$Q_L$	$1.125 \times 10^4$	$1.2 \times 10^6$	$5.78 \times 10^5$	$4.8 \times 10^5$
Beam Phase	-90 deg.	0 deg.	0 deg.	0 deg.
Feed power	3 kW	2.6 kW	13 kW (Pg=18.5 kW)	
RF Source	20 kW IOT	25 kW Klystron	300 kW Klystron	

注: 厳密な数値ではない(適当?)

# FF 運転 (FB無)

DAC出力を一定

FB0 (Buncher) 114 kV (Pin=3kW)

Amp 0.5% rms , Phase 0.7 deg. rms

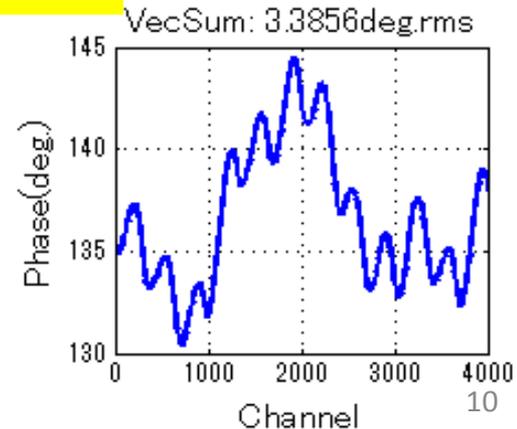
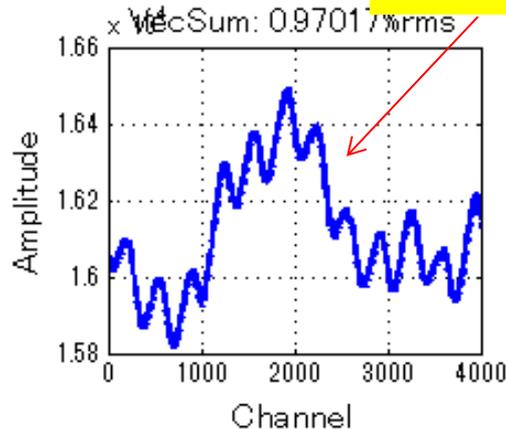
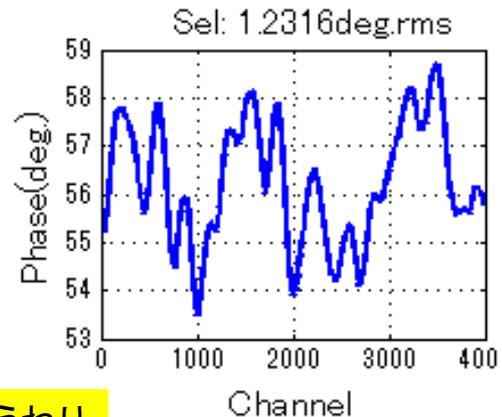
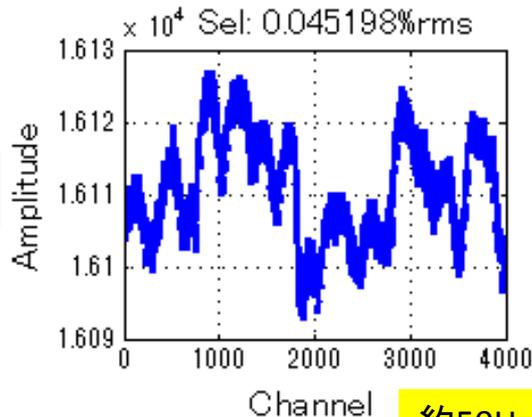
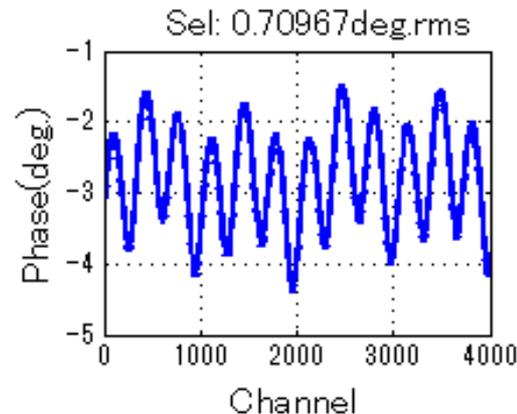
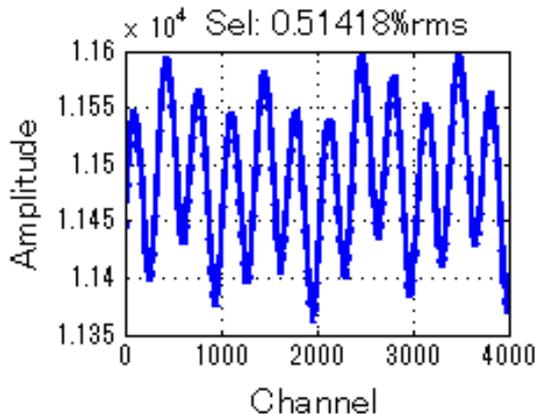
FB1 (Inj cav1) 7MV/m (Pin=2.6 kW)

Amp 0.05% rms , Phase 1.23 deg. rms

FB2 (cav2, cav3) 7MV/m (Pin=18.5 kW)

Amp 1% rms , Phase 3.4deg. rms

全てに300 Hz程のリップルが見られる 100kS/s



# FF 運転 (FB無)のVf波形

DAC出力を一定

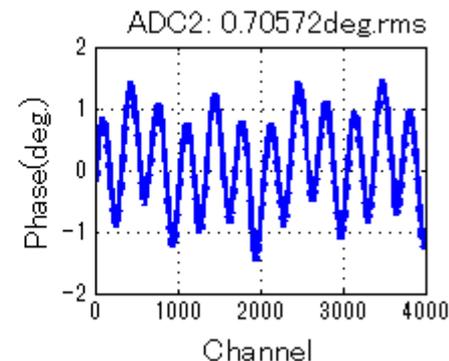
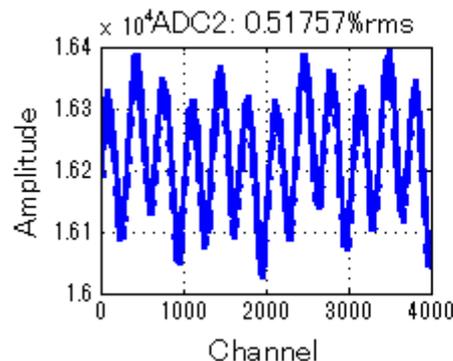
FF運転時に、フィードパワーにも  
300 Hzのリップルが観測された。

ただし、FB1には300Hzは見られない。

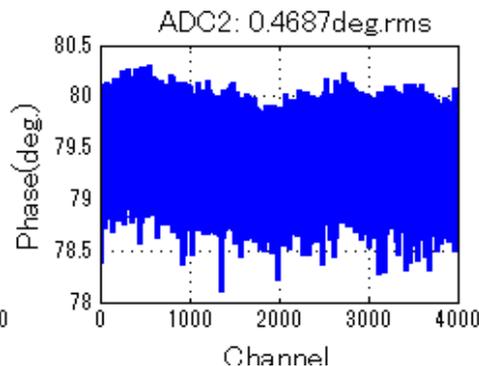
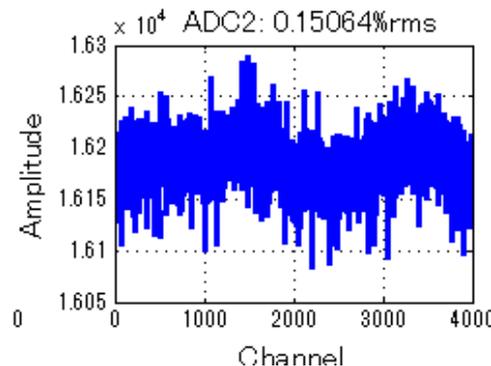
各高圧電源の安定度を、  
高圧プローブを入れて直接測定  
することにした

Buncher Input RF

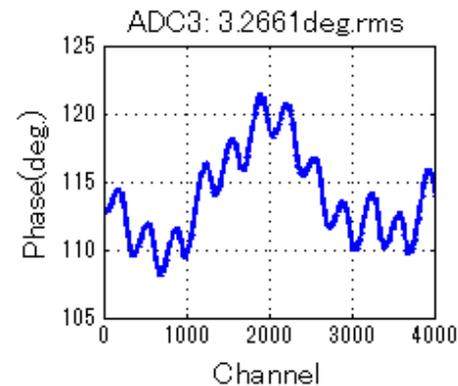
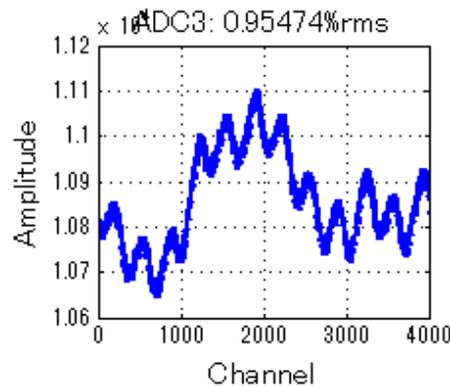
100kS/s



FB1 Input RF



FB2 Input RF



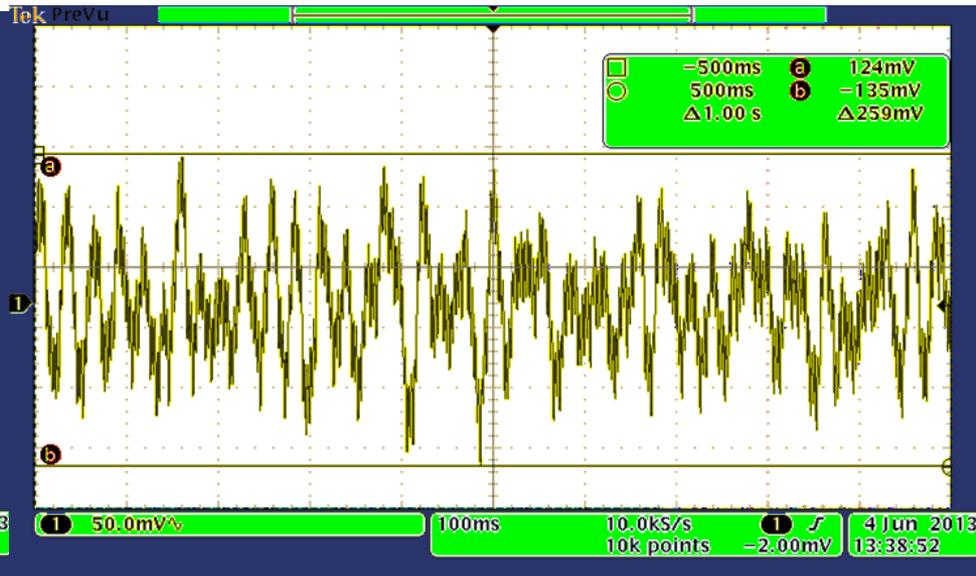
## 300kW Klystron用モジュレータの高圧安定度

## IDX:サイリスタ位相制御方式

2013/6/4 測定

Es=30kV => 15.1 V (2000:1 プローブ)

Buncherに用いているIOT用の  
モジュレータもIDXのサイリスタ位相制御



小さいうねりが300Hz.  
大きなうねりは大体50Hzのものが多いが、  
きれいな50Hzではない。ばらつく。

時間軸を広げて見た場合。  
Peak-Peakで259mV.

30kV時の電源安定度:  $259\text{mV}/15.1\text{V} = 1.715\% \text{ p-p}$

10deg/%なので、RF出力の位相安定度(FB無)は、17 deg p-p

## <300kW Klystron電源の仕様>

出力電圧リップル(p-p):0.3%(目標値)、0.5%(保証値)(出力40kV以上において)

出力電圧安定度(p-p):0.3%(目標値)、0.5%(保証値)(出力40kV以上において)

## <300kWクライストロン電源電圧安定度>

2010/11/19における測定結果。

47kV 安定度0.97%

45kV 安定度0.78%

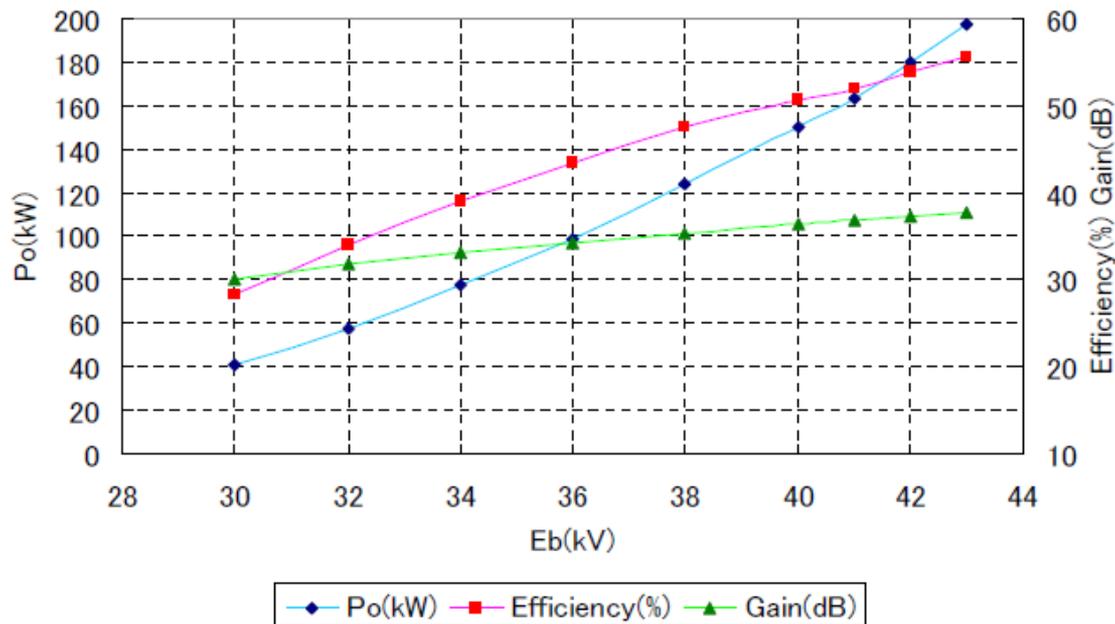
42kV 安定度0.67%

40kV 安定度0.7%

38kV 安定度0.74%

35kV 安定度0.87%

32kV 安定度1.3%



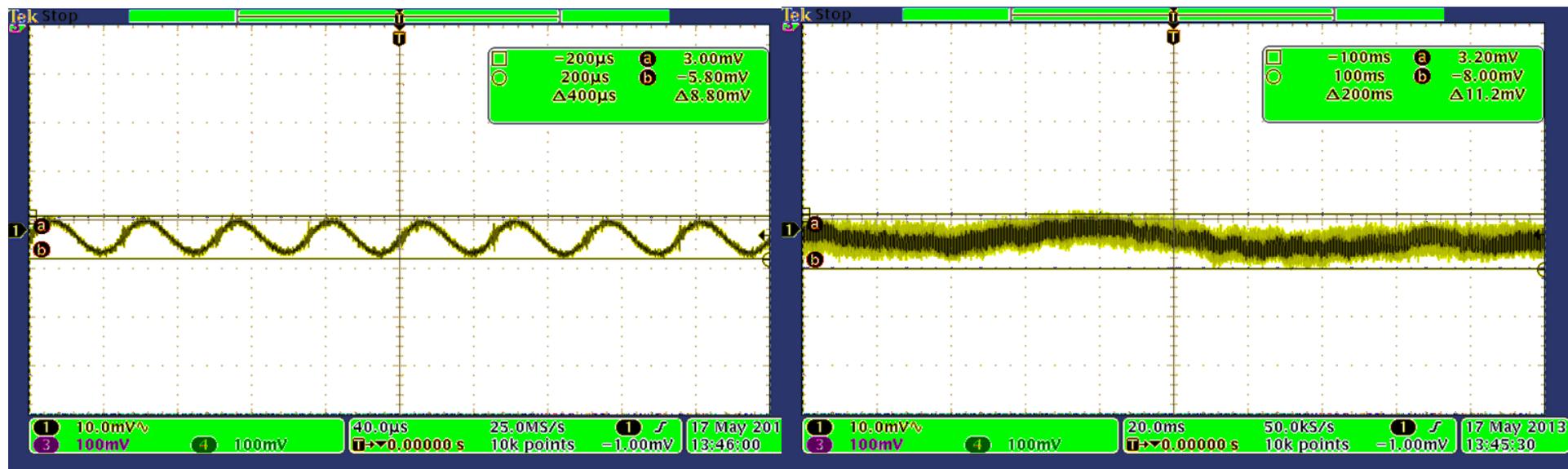
各ビーム電圧に対する飽和出力電力,効率及び利得の関係

現在、30kVで運転。

低い電圧のところで調整すると、高い電圧で運転ができなくなってしまう可能性。  
電源の調整をどのように行うかは、今後どのくらいの最大出力で運転したいかによる。

2013/5/17測定 (#1,#2,#3空洞が7MV/m RF運転時)

Es=15 kV => 7.44 V (1/2000 プローブ)



リップルの周波数は、20 kHzだった。  
300Hzのリップルは見られなかった。

ACカップリングで測定。  
Peak-peakで11.2 mV。

300kW Klystron電源がONでも300Hzのリップルは  
電源にはみられなかった。

電源安定度:  $11.2\text{mV} / 7.44\text{V} = 0.15\% \text{ P-P}$

# P(prop)=0, I(integral)=10 Feedback(FB) 運転

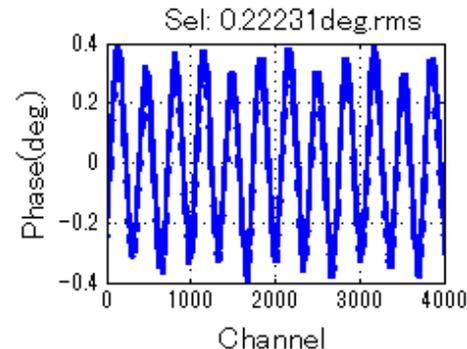
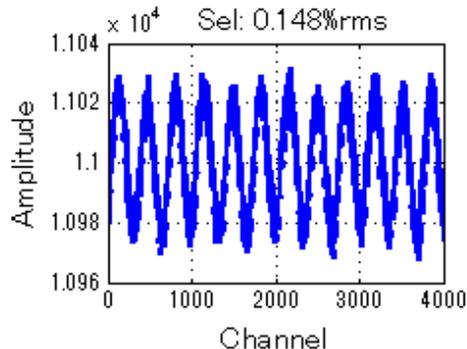
大きなうねりはほぼなくなったが、  
300 Hz程のリップルが残っている

100kS/s

現在の通常運転時のパラメータ  
KP=Prop/2<sup>7</sup>  
KI= Inte/2<sup>18</sup>

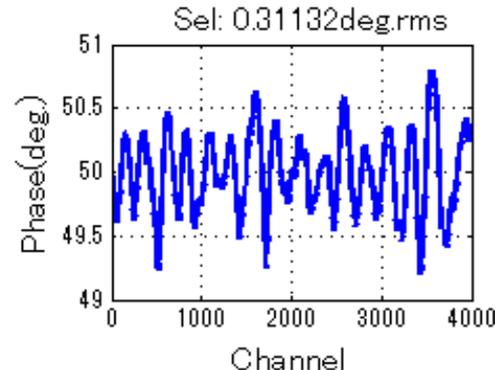
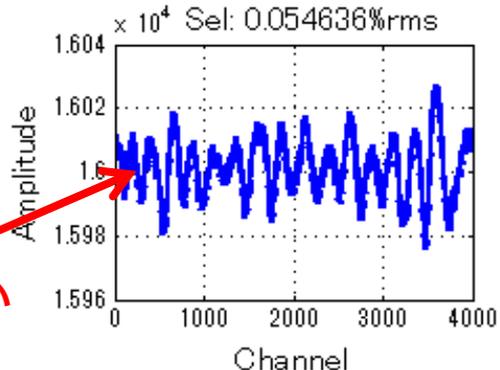
FB0 (Buncher) 114 kV (Pin=3kW)

Amp 0.15% rms , Phase 0.2 deg. rms



FB1 (Inj cav1) 7MV/m (Pin=2.6 kW)

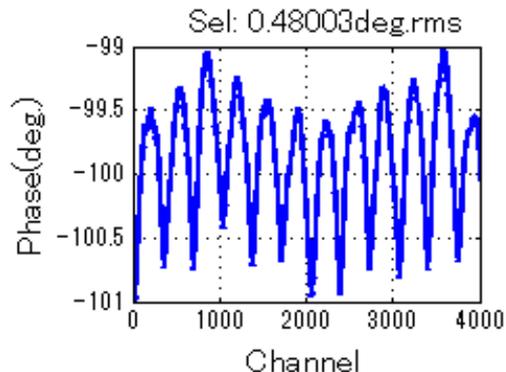
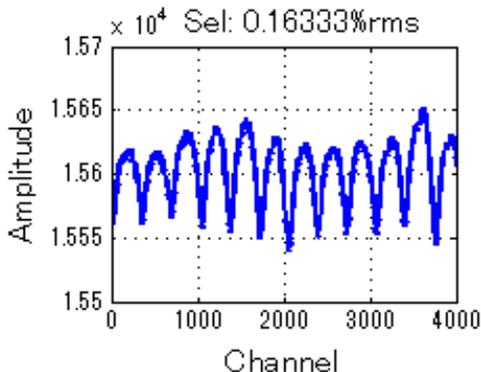
Amp 0.05% rms , Phase 0.3 deg. rms



FB1のみ300Hzではない

FB2 (cav2, cav3) 7MV/m (Pin=18.5 kW)

Amp: 0.16% rms , Phase 0.5 deg. rms



必要な安定度(0.1%rms, 0.1deg rms) を満足していない。

6/14 LLRF Studyを実施

フィードバックゲインサーチを行い、最適ゲインを決定

=> Qui 氏が詳細報告

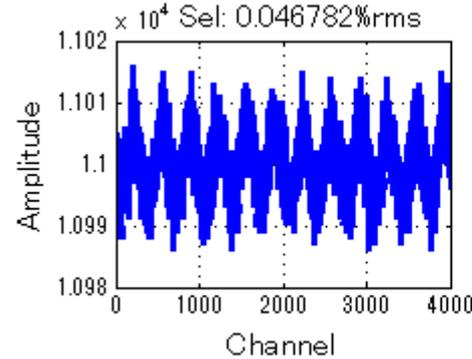
# High Gain Feedback Operation

KP=Prop/2<sup>7</sup>  
KI= Inte/2<sup>18</sup>

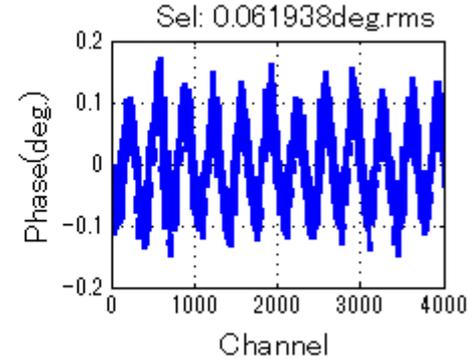
FB0(Buncher): 110 kV

FB : P=20,I=40

Amp: 0.04% rms , Phase 0.06 deg. rms



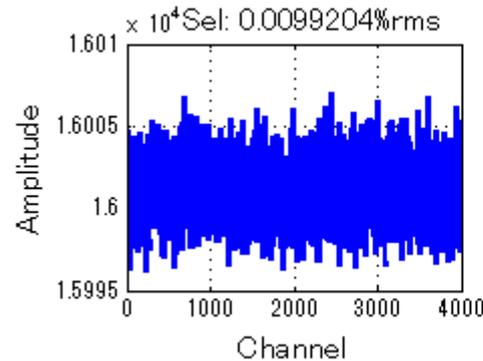
100kS/s



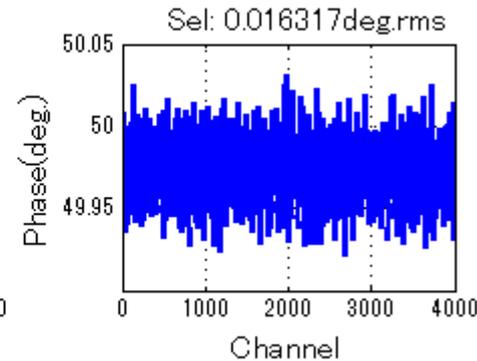
FB1 (cav1): 7MV/m

FB : P=13500,I=200

Amp: 0.01% rms , Phase 0.02 deg. rms



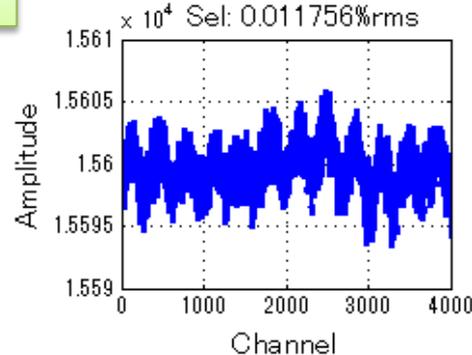
10kS/s



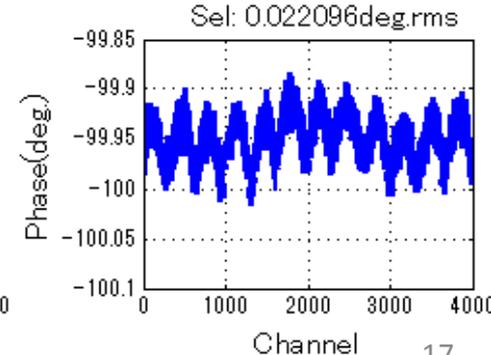
FB2(cav2,cav3): 7 MV/m

FB : P=6000,I=200

Amp: 0.01% rms , Phase 0.02 deg. rms



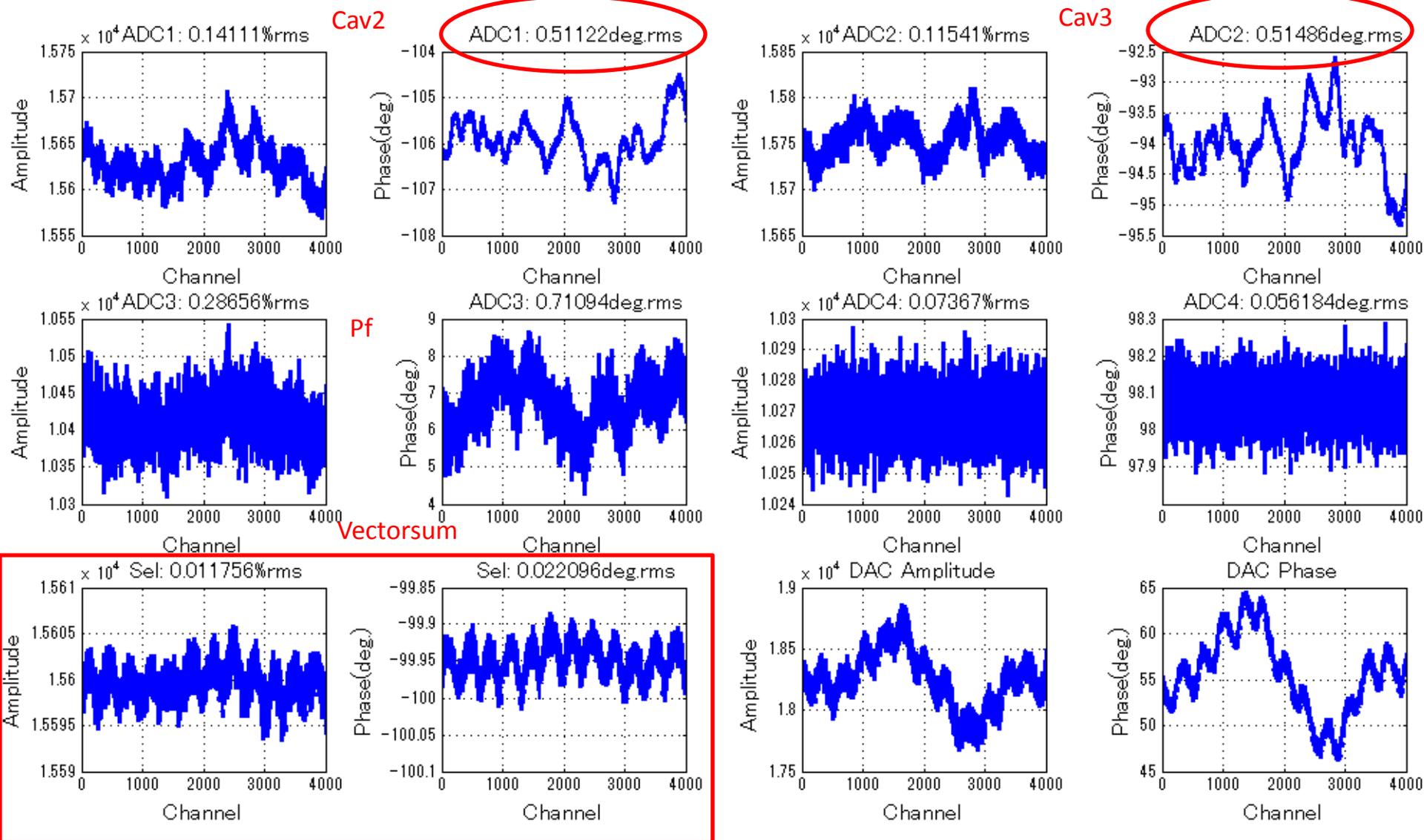
100kS/s



必要な安定度(0.1%rms, 0.1deg rms) を満足

FB2はVector-sumなので、実際にビームの安定度を見てVector-sumの影響を確認したい。

FB2-P6000T200-7MV-rate799-WL130k-20130614



# チューナー

- ゆっくりとしたピエゾチューナーのフィードバックは、現在ソフト的に行っており、なんとか運用できている。  
現在、FPGAボードのロジックを改修予定。
- ボードからのモーターチューナーの駆動は、全ての空洞についてハードウェア的に駆動できることを確認済み。FPGA内部の位相の計算精度が若干悪いため、手直し中。

The screenshot displays the CSS software interface for three piezoelectric tuner channels (TN1, TN2, TN3). Each panel includes control buttons (Interlock, Update, Details), status indicators (LVL-OK, Tuned, Limit), and real-time monitoring data for ADCs, Amp, and Phase. Below the main data are control sections for Motor Cont., Piezo Cont., and F-Step Pulse, along with various sensor readings like Potention, Pulse Count, and DAC Output.

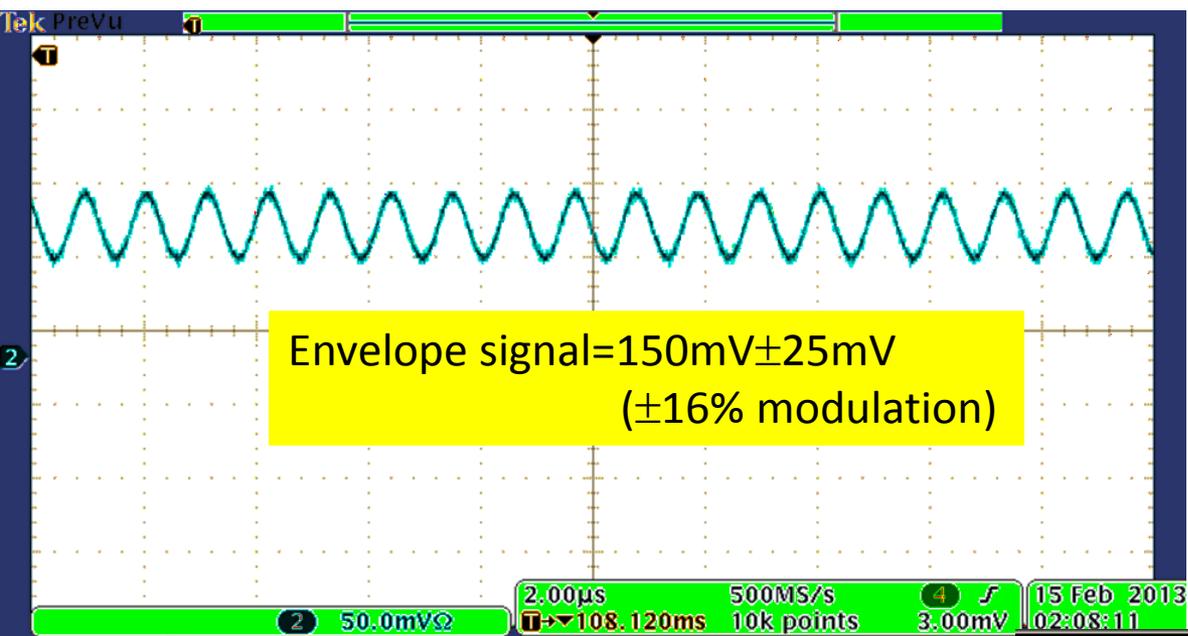
Channel	ADC1 Amp	ADC2 Amp	ADC3 Amp	ADC4 Amp	Phase [deg]
CERL:LLRF:TN1	16512	11842	12007	801	-20.6, -9.0, 123.4, -178.7
CERL:LLRF:TN2	18992	10612	6341	9518	48.1, 53.2, 76.9, -37.4
CERL:LLRF:TN3	15305	4131	4261	9939	47.6, 56.6, -149.0, 76.0

Channel	Piezo DAC Offset	Piezo step	DAC Output	θ2-θ1	Piezo Volt (Logger)	Eacc [MV/m]	ADC1 (Pt) Amp	ADC2 (Pf) Amp	P_IN:UPPER
CERL:LLRF:TN1	-4,000	1,000	-4007	-14.0	2.1730	7.1130	16512	11842	1.5050
CERL:LLRF:TN2	3,000	1,000	2993	-6.7	2.6980	7.2244	18992	10612	4.3500
CERL:LLRF:TN3	8,000	1,000	7992	-9.2	3.0820	6.7943	15305	4131	4.1300

## **Some Troubles of RF Components**

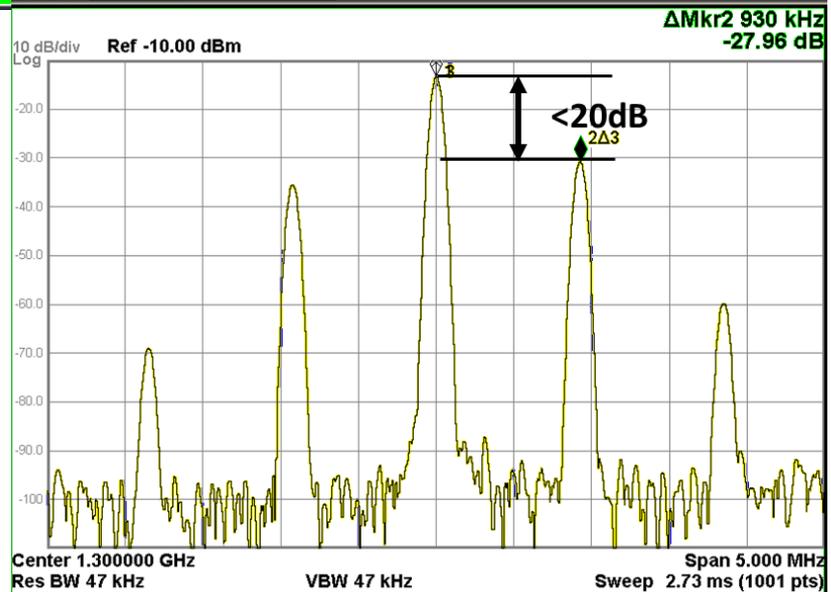
# (1) L3 20kW IOT : Oscillation Problem



Sideband :  $\Delta = 910 \sim 930 \text{ kHz}$  (drift?)  
Relative strength : -19dB

$$V = (1 + A \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

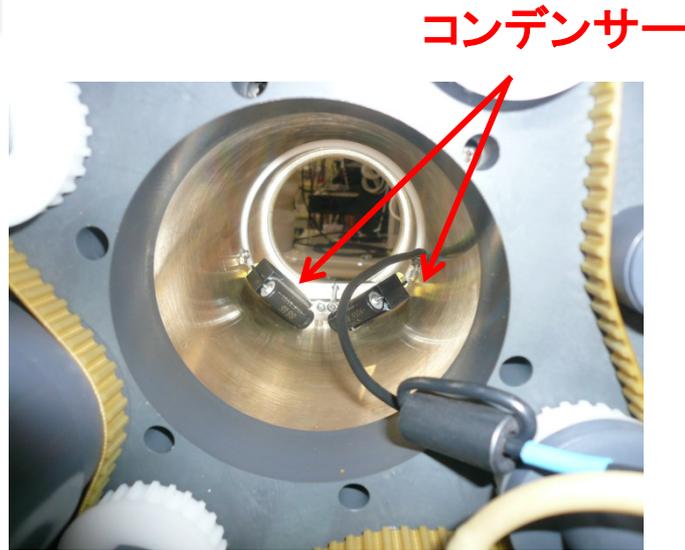
$$= \cos \omega_c t + \frac{A}{2} \cos(\omega_c - \omega_m) + \frac{A}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)$$



# (1) L3 20kW IOT : Oscillation Problem

グリッドとカソード間に入れる  
コンデンサー(11  $\mu$ F)の装着忘れに  
よるものだった。

出荷前検査の時、既に外されていた  
らしい。

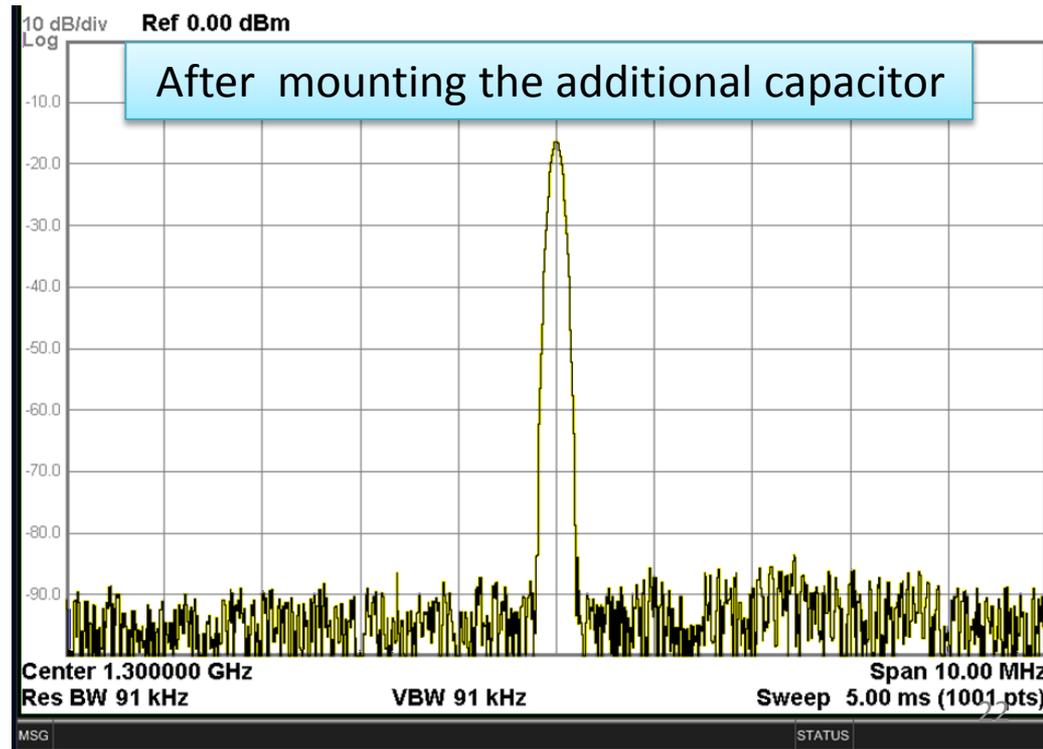


2013/5/1にハイパワー試験をおこなった。

コンデンサーを入れたらスプリアスが  
無くなった。

ここに至るまで、KEKの不備を疑われ  
電源の試験など、測定を何度も  
やられた。

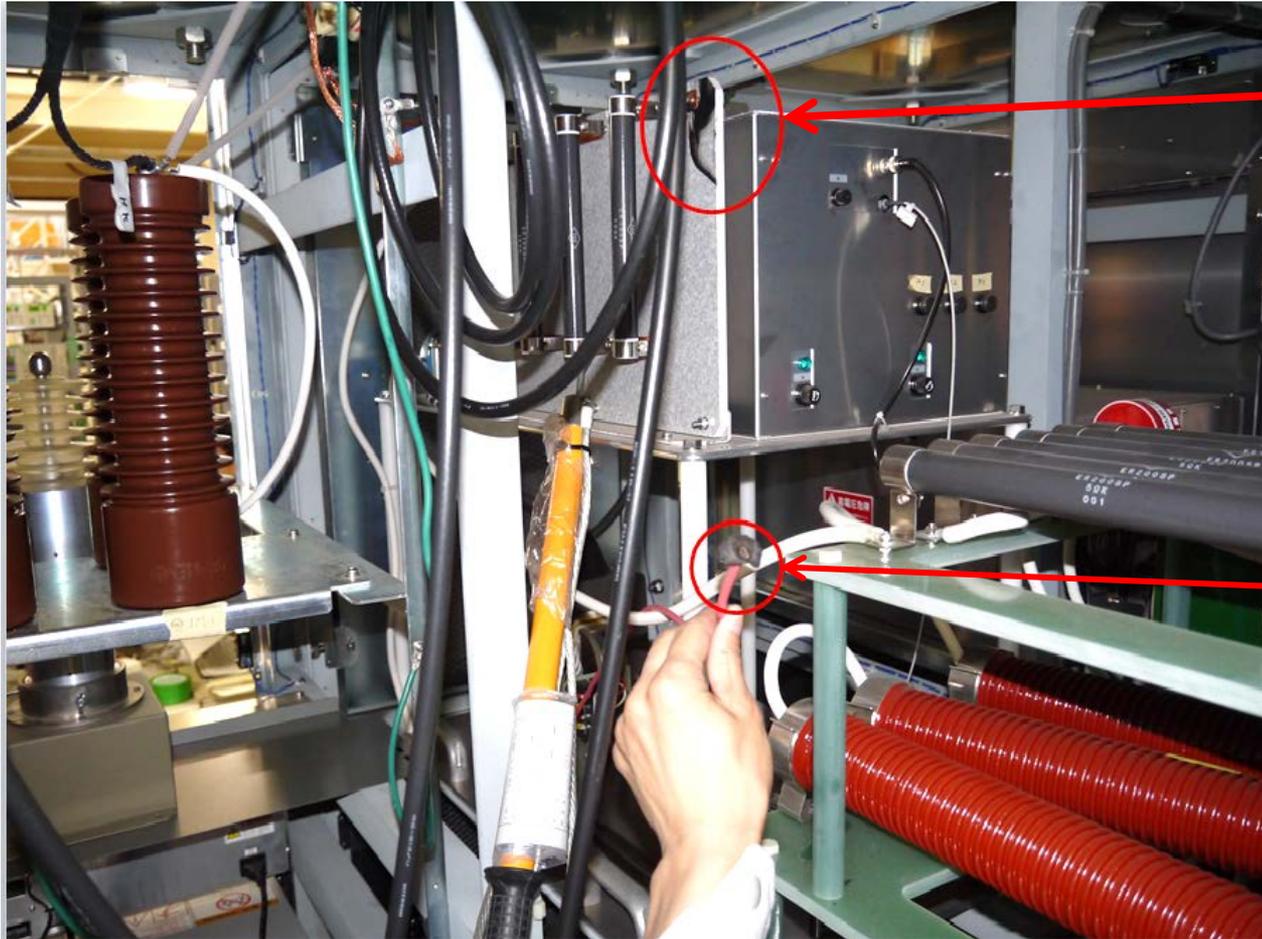
現在、16kWまでの出力は確認された。  
パワードリフトについては、冷却水を長時間流し  
続けることにより、軽減された。



## (2) Arcing Trouble of 25 kW Klystron Modulator

5/22: 25kW Klystron用高圧電源の高圧出力部のケーブルが焼き切れた。

(パンと音がした後、筐体内で黄色い光が持続して見えた。)



高圧出力部  
(焦げ跡)

圧着端子が取れ、  
被覆が焦げた

ケーブルは単芯で $\phi 0.75\text{mm}$ の細いケーブルであった。圧着端子での接触が問題だったと考えられる。太いシリコンケーブルに変更し、再立ち上げ後、問題なく復旧した。

## (4) 16 kW 半導体アンプの地絡問題



R&K社内では最大18 kWの出力を確認

KEKでの立ち上げ試験の際、50mAの漏電が検知された

200V 3相のアースラインに50mA流れた。

200V3相用のノイズフィルターの後に、  
3個のスイッチング電源が各2相間に並列に入っている。

スイッチングノイズ(70kHz)がノイズフィルターとグラウンドとの間の  
静電容量を通して流れてしまうことが原因

3相のラインにコモンモードチョークを入れることを現在検討中。

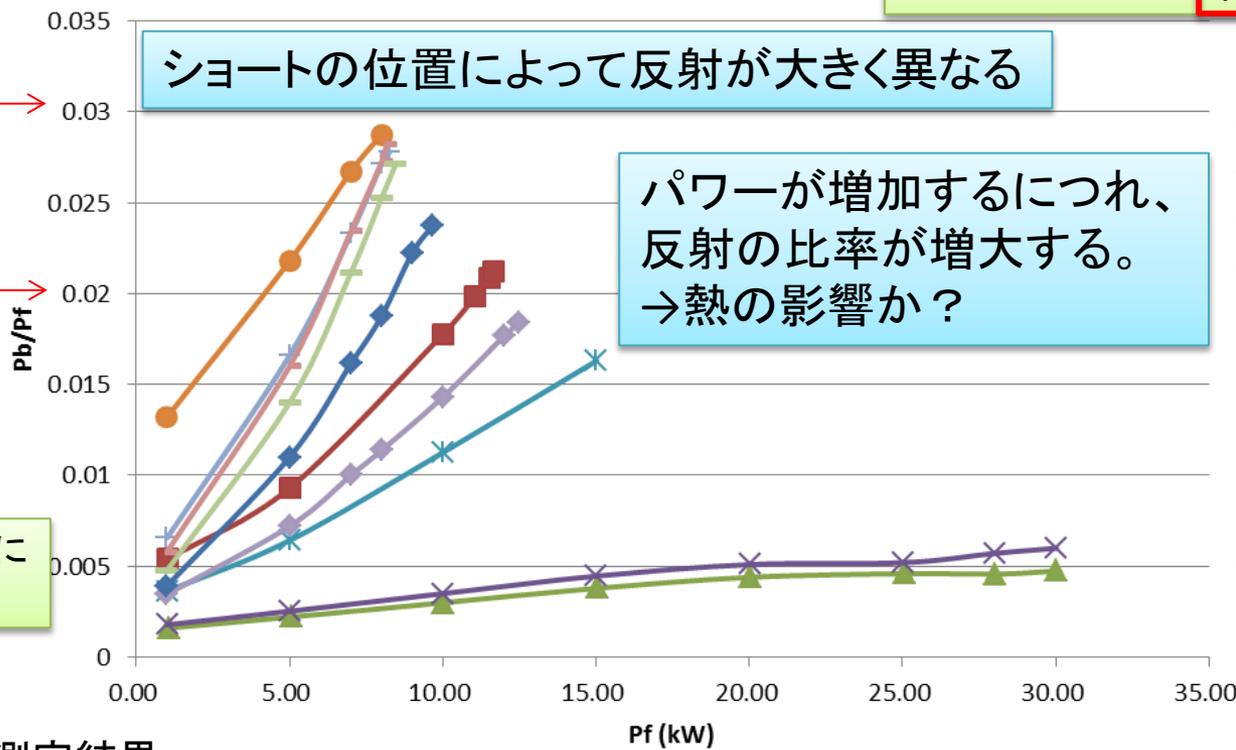
### (3) 30kW Circulator : Reflection Problem

Cir + 300mm + **spacer** + 端板

ショート的位置によって反射が大きく異なる

VSWR=1.42

VSWR=1.33

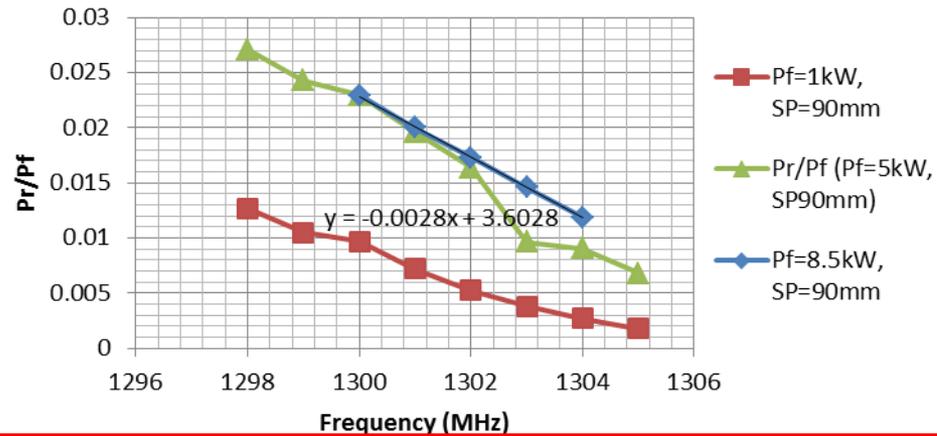


- Pb/Pf
- ▲ Pb/Pf (30mm)
- × Pb/Pf (40mm)
- \* Pb/Pf (70mm)
- Pb/Pf (90mm)
- + Pb/Pf (110mm)
- Pb/Pf (120mm)
- Pb/Pf (130mm)
- ◆ Pb/Pf (80mm)
- ◆ Pb/Pf (100mm)

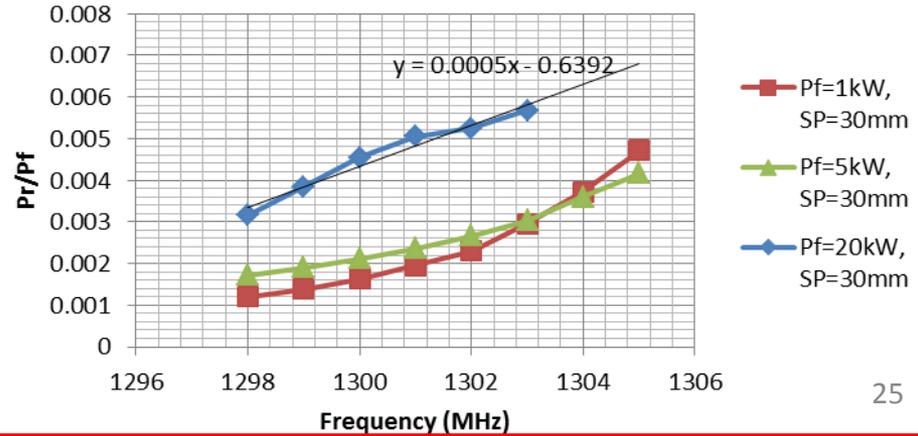
IOTはVSWR1.2以下にする必要がある。

### 周波数特性の測定結果

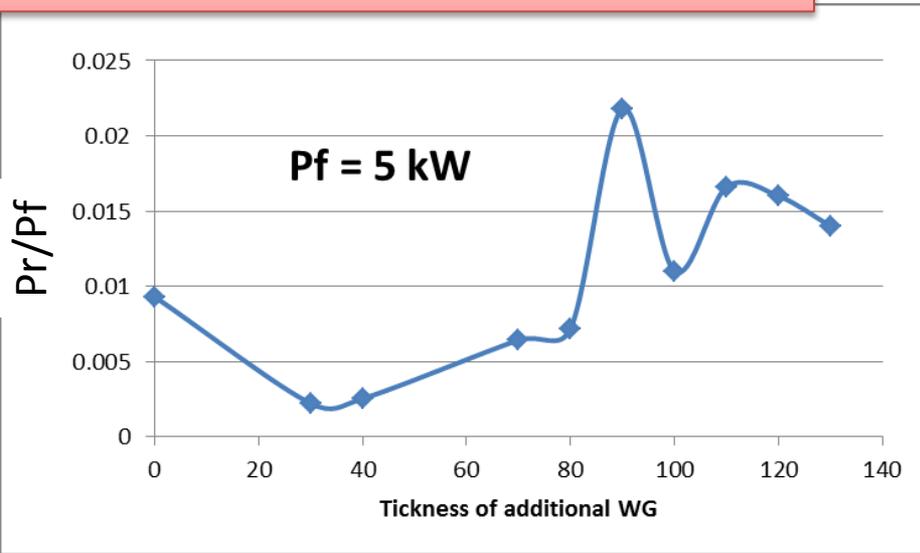
Pr/Pf (SP=90mm, Pf=8.5kW)



Pr/Pf (SP=30mm)



### (3) 30kW Circulator : Reflection Problem

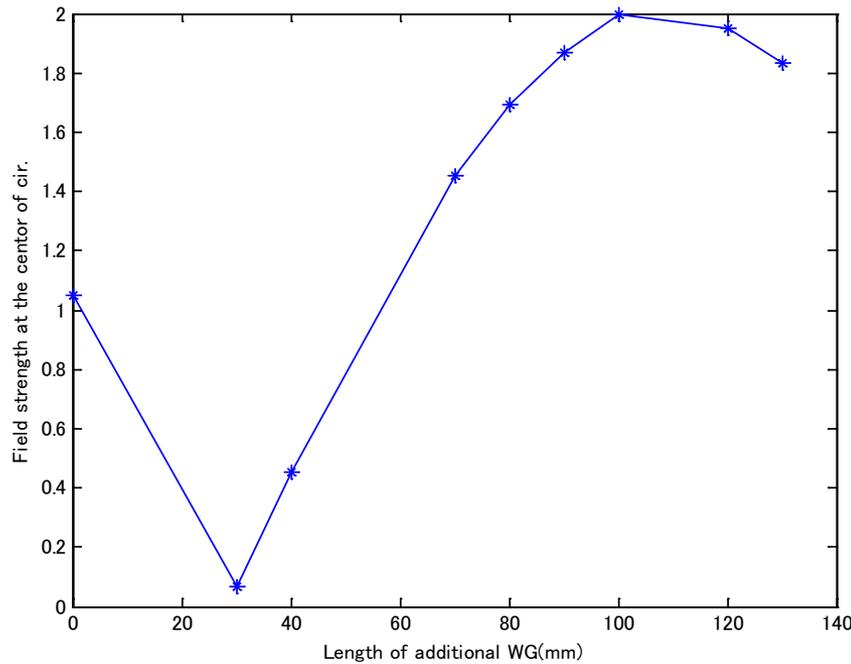


サーキュレータ中心での電場強度が反射に影響しているようだ。



発熱が不均一？  
フェライトの場所で特性異なる？

サーキュレータ中心での電界強度  
(定在波)



スペーサーの長さ(mm)

今週、再度試験予定。  
導波管窓から、赤外線カメラで  
表面温度を測定予定

#### (4) LLRF

● 恒温槽 : 結露した水滴が中に置いていたNIM電源に垂れてショート。故障した。現在修理中。

● クロック分周期の同期がとれていなかった問題があった。

MO(1300MHz)を分周して、LO生成用の10.156MHzとFPGA Clock用162.5MHzの生成する際、分周器を2段入れる必要があり、2段目に入れるクロックが162.5MHzと同期していなかったため、同期がとれなかった。

=> 現在は、同期がとれている。

ただし、FBボードのADCは162.5MHzをボード内で2分周して使っているため、ボードのON/OFFで、 $\pm 22.5\text{deg.}$ の不確定さが生じている。

夏以降、ボードの入カクロックをADサンプリングと同じ81.25MHzに変更を予定。

=> 機器のON/OFFがあっても同期が常に取れる予定。

# まとめ

- ・入射器の運転が無事におこなわれている。
- ・電源のリップルが大きいため、RF安定度の達成が少し厳しい。  
高いフィードバックゲインをセットすることによりなんとか目標が達成できそうである。  
今後LLRFの安定度とビームの安定度との相関を取りたい。
- ・LLRFのコントロールも、ユーザーフレンドリーになるように今後も改善を進めていく。

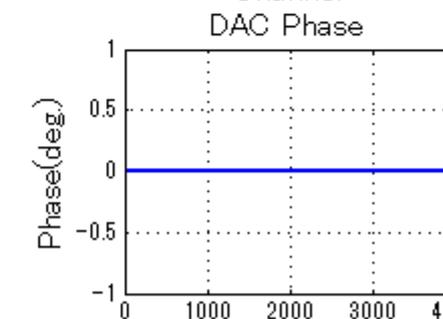
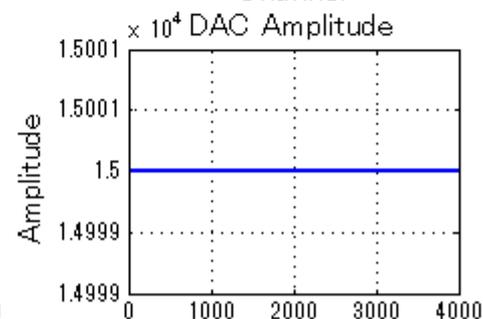
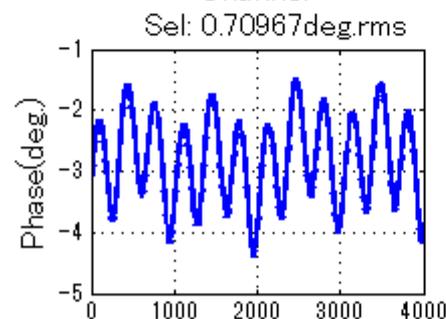
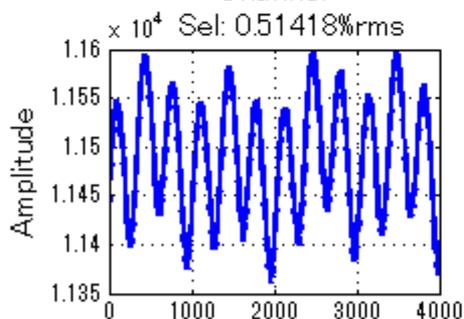
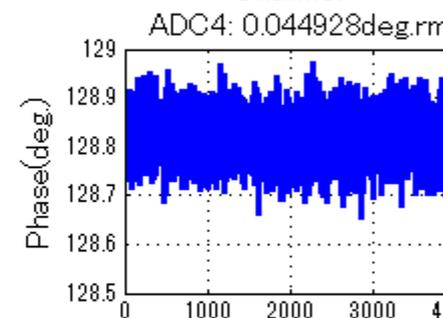
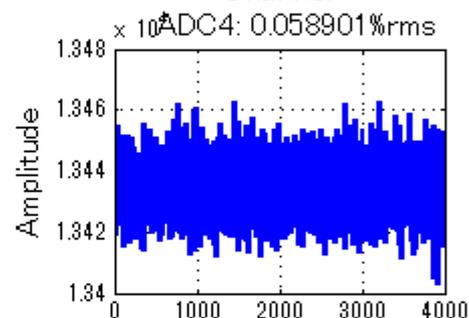
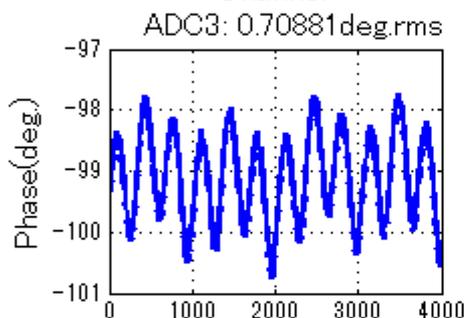
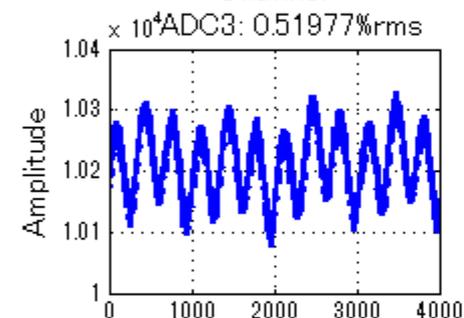
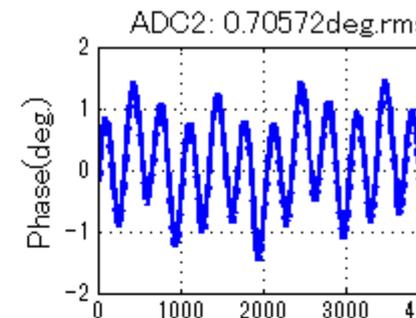
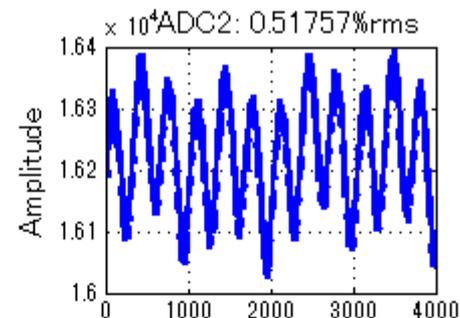
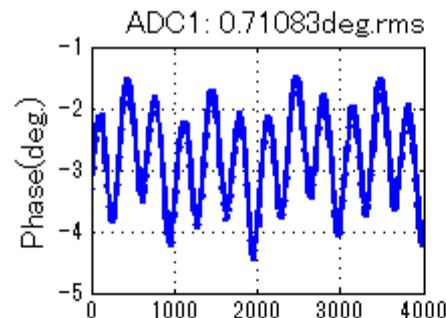
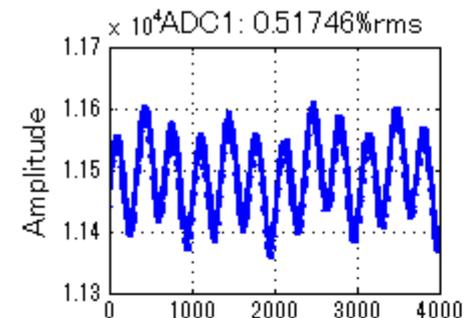
Backup slides

FB0: 114kV FF 運転。FB無し

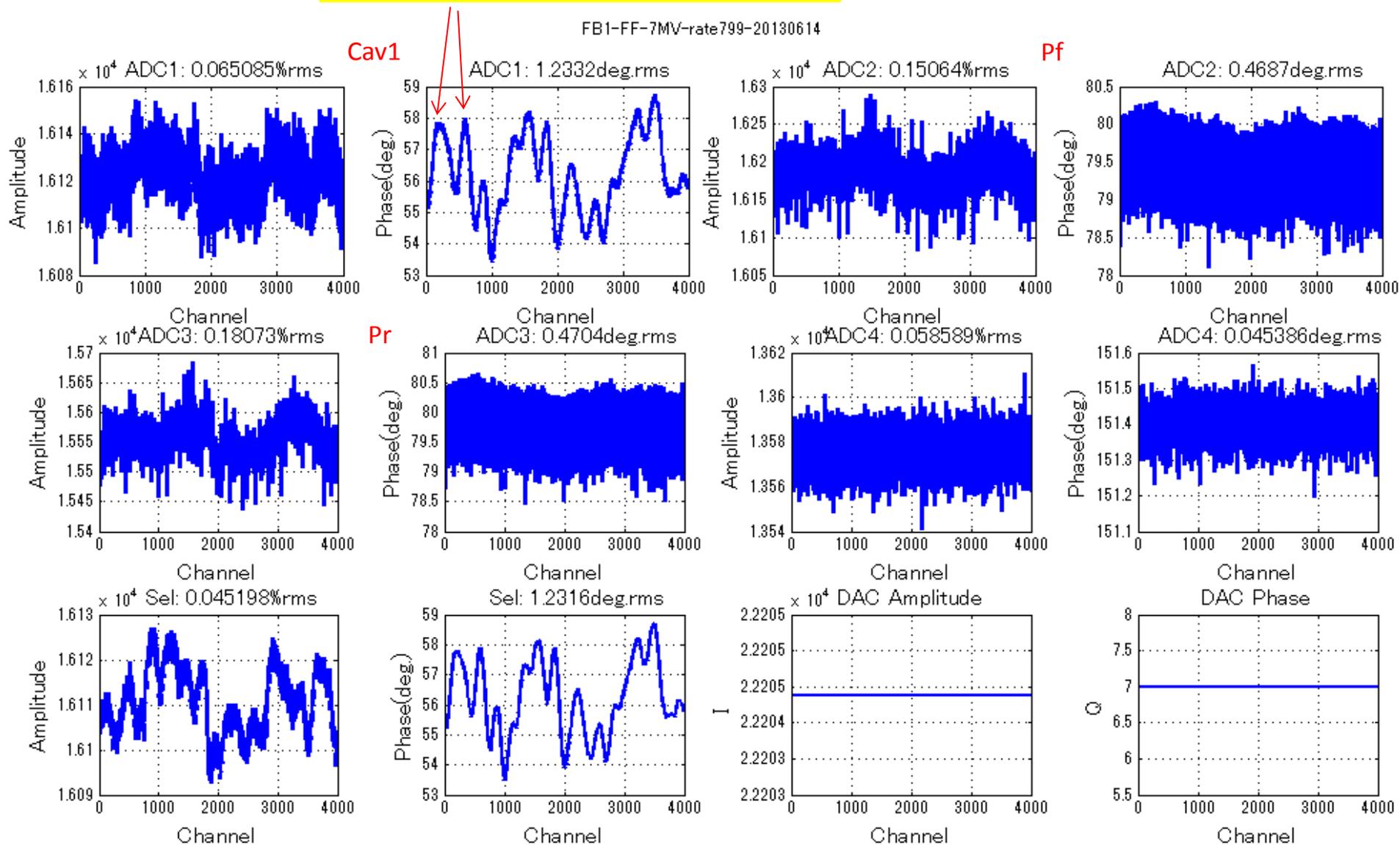
Amp: 0.5% rms , Phase 0.7 deg. rms

100kS/s

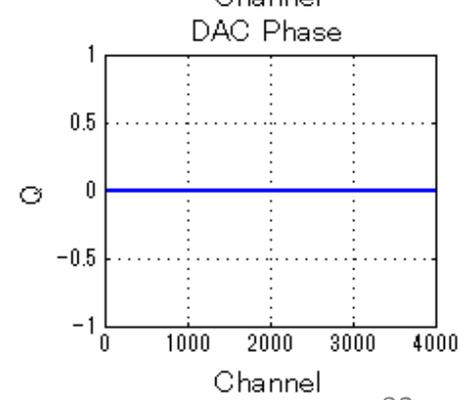
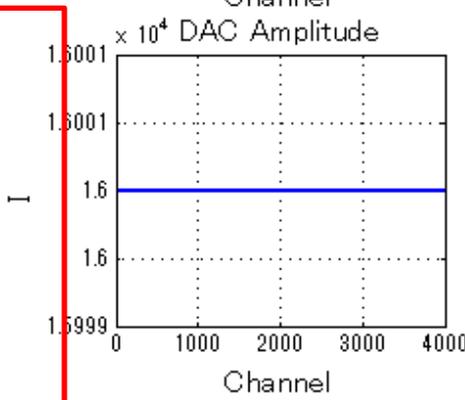
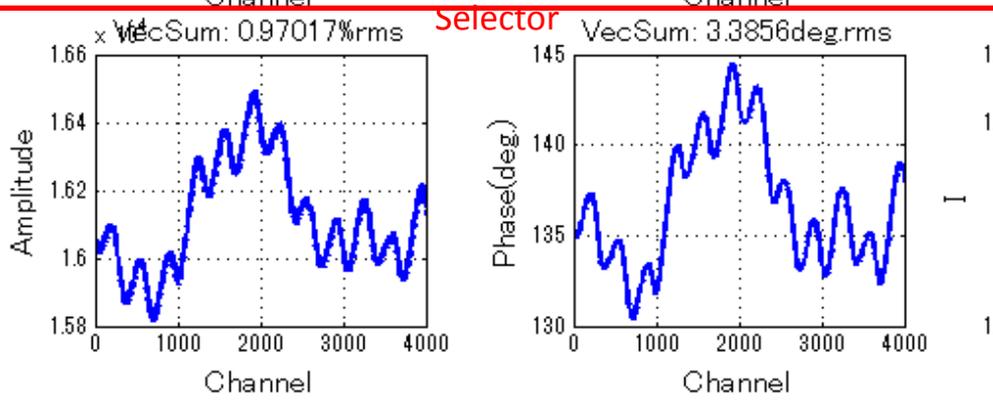
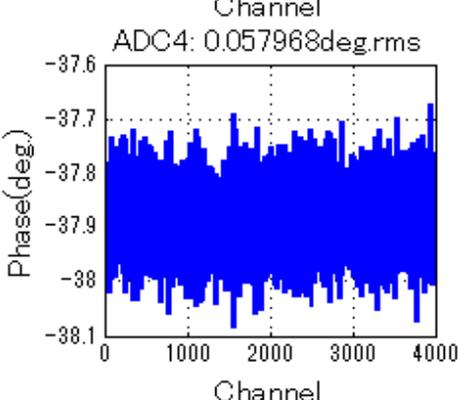
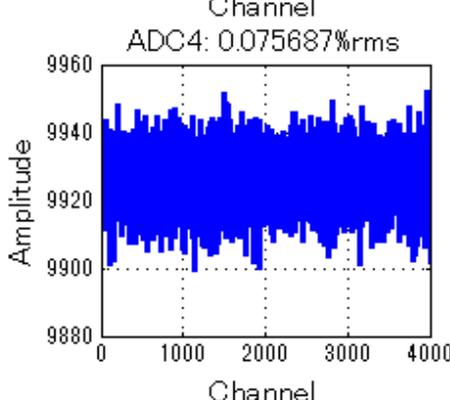
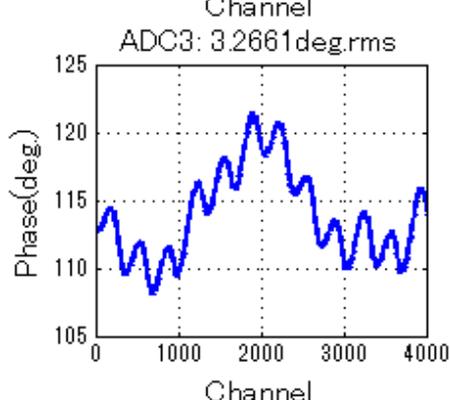
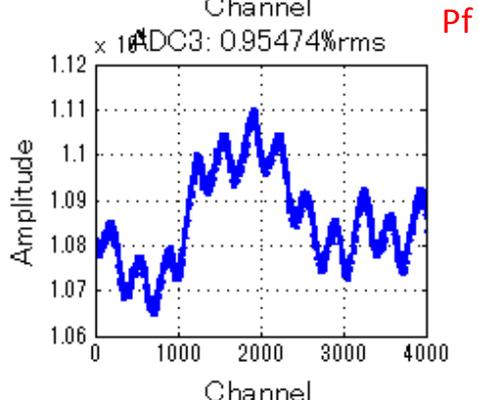
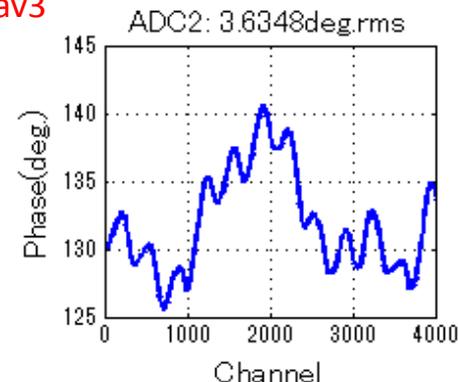
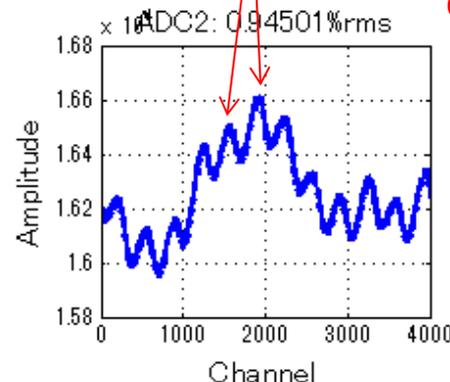
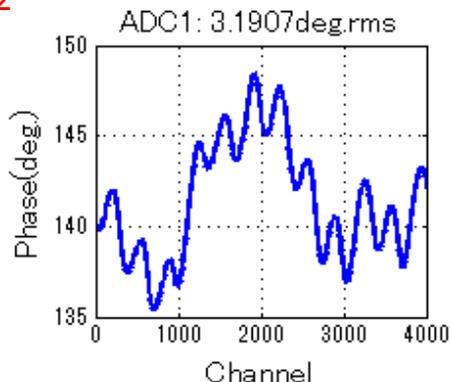
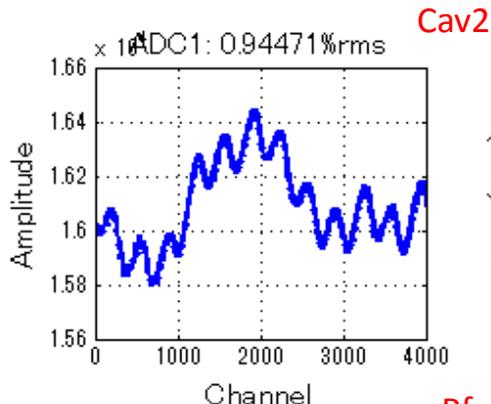
FBoff-2013-0531-FB0-POI10-IR500k-deci799



300 Hzに近い周波数のリップルが見られる



FB2-FFope-7MVpm-20130522b 300 Hzのリップル

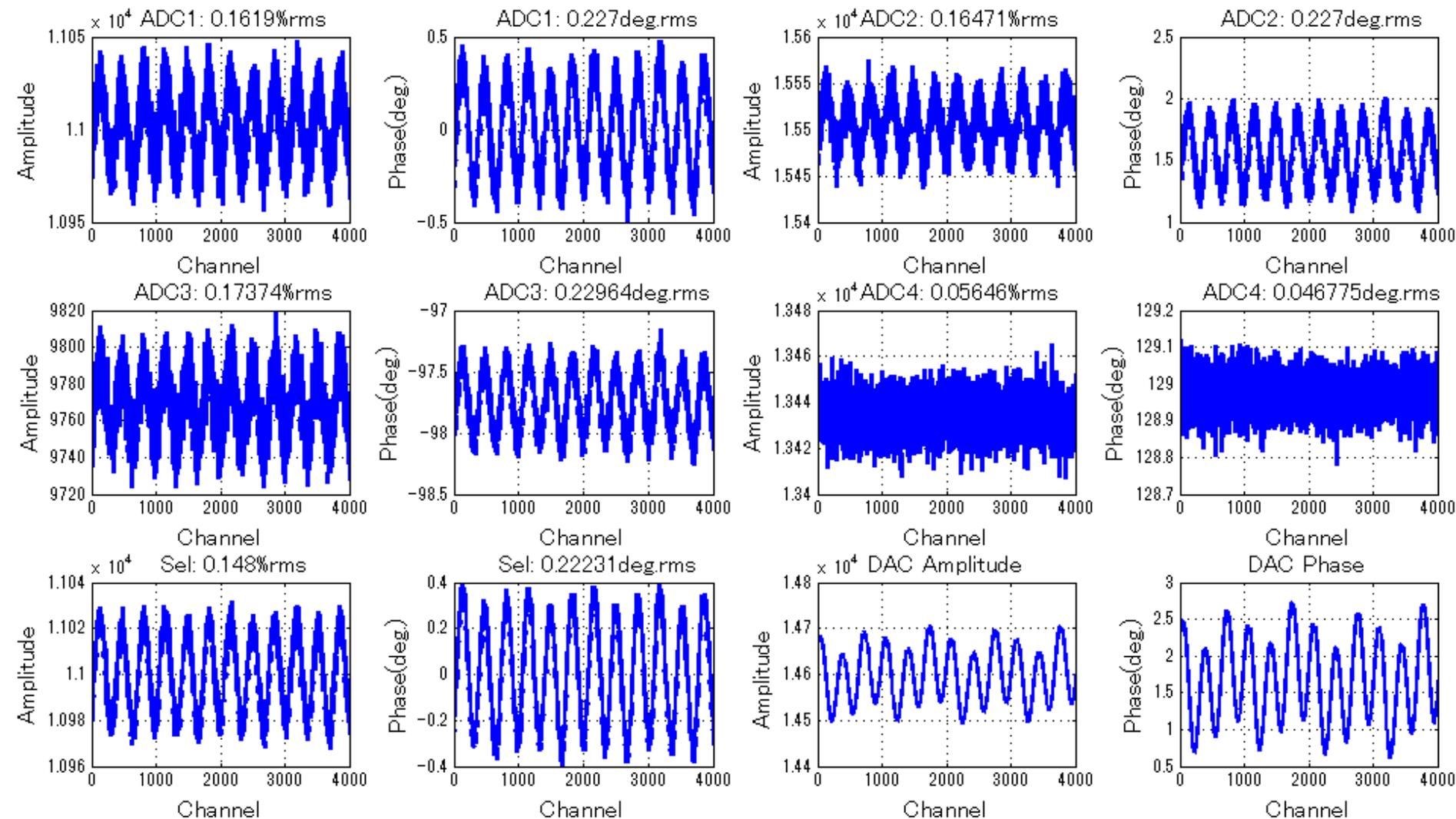


FB0: 114kV FB : P=0,I=10

Amp: 0.15% rms , Phase 0.2 deg. rms

100kS/s

2013-0531-FB0-P0I10-IIR500k-deci799

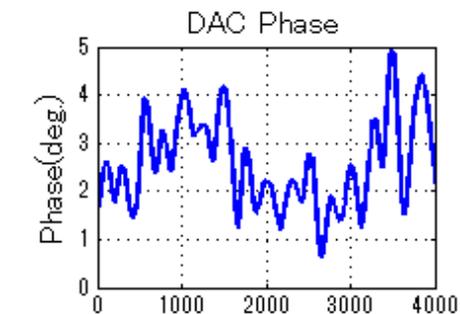
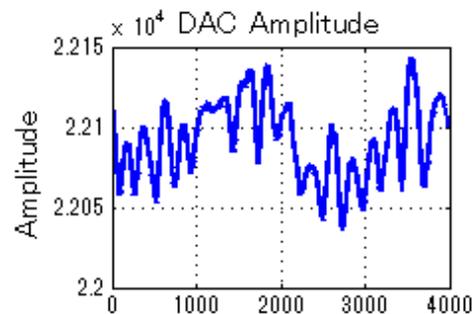
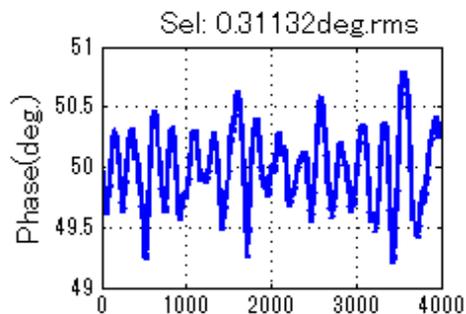
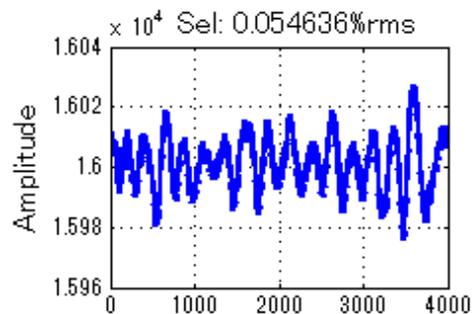
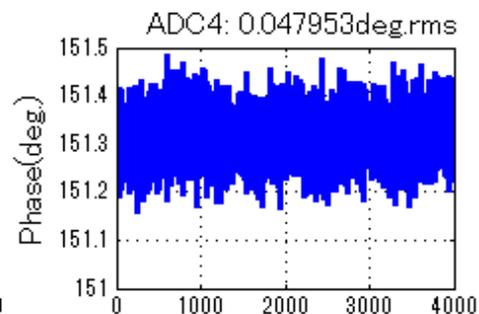
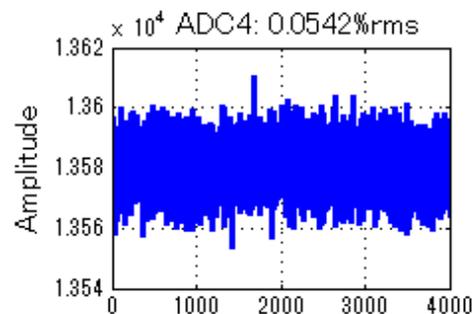
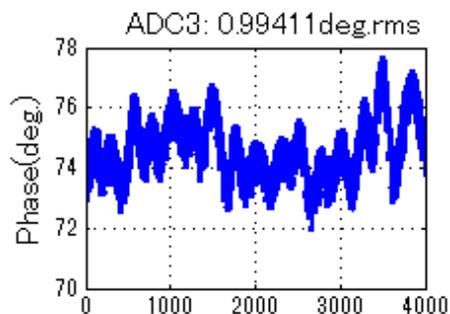
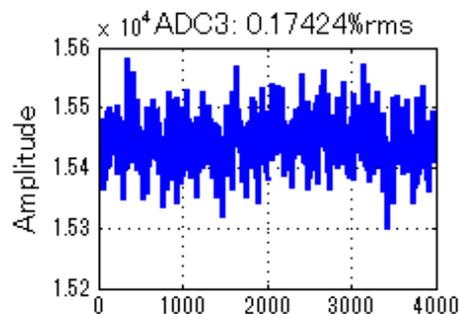
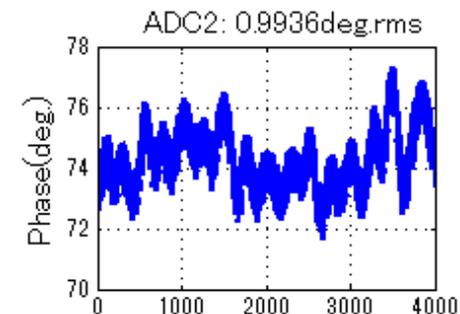
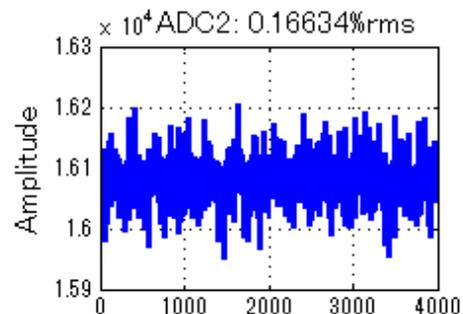
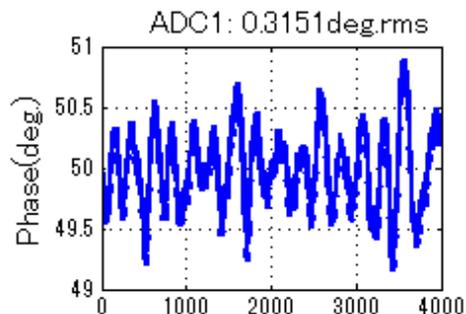
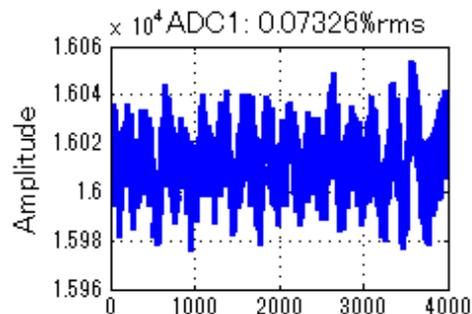


FB1: 7 MV/m FB : P=0,I=10

Amp: 0.05% rms , Phase 0.3 deg. rms

100kS/s

FB1-POI10-7MV-rate799-20130614



Channel

Channel

Channel

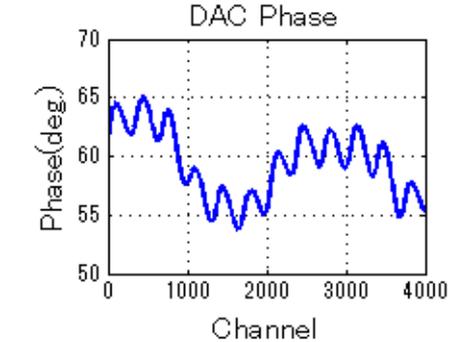
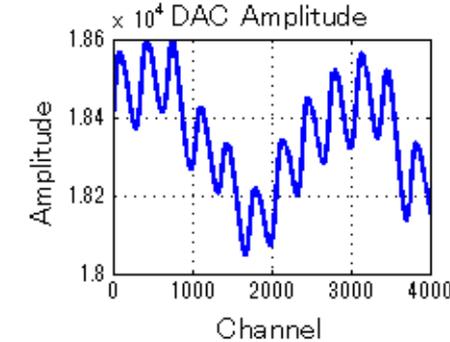
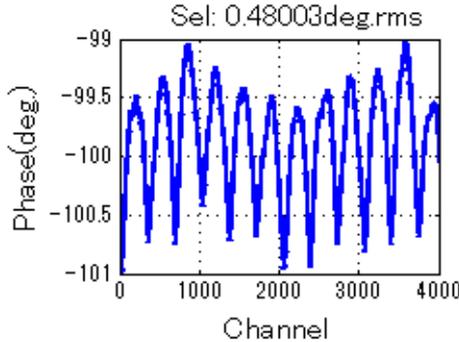
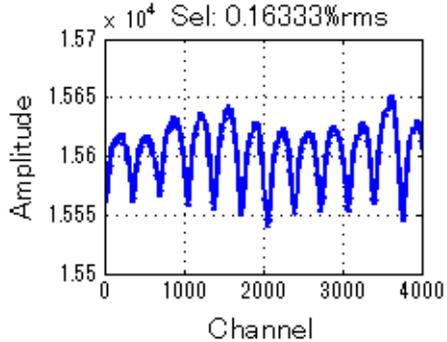
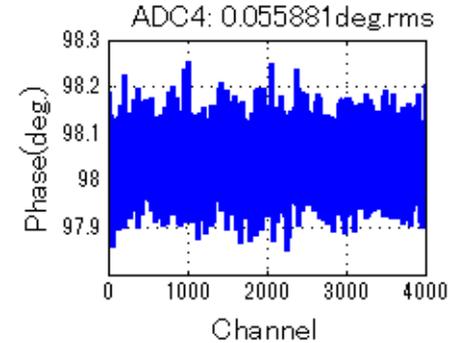
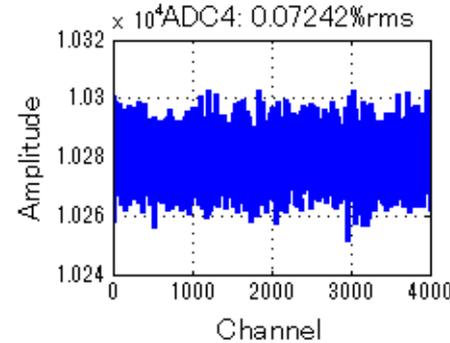
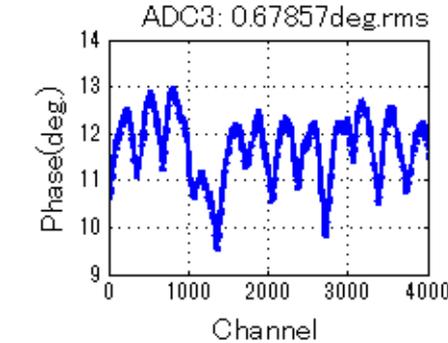
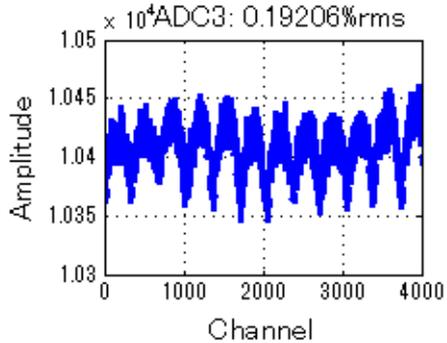
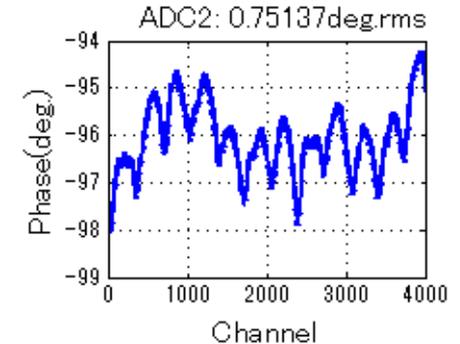
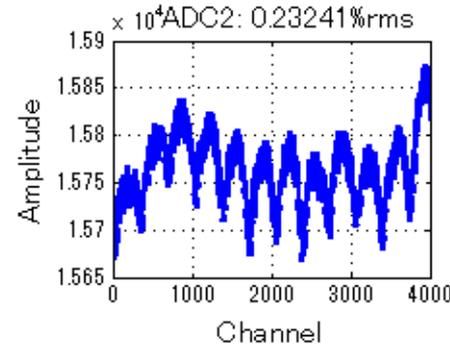
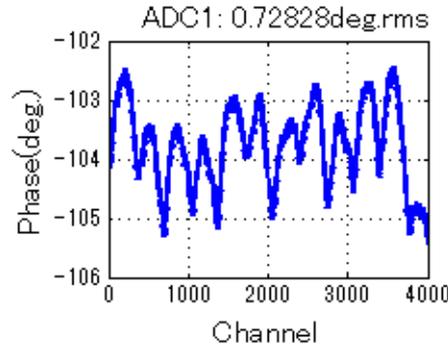
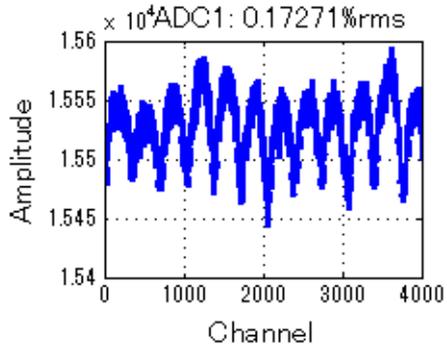
Channel

FB2: 7 MV/m FB : P=0,I=10

Amp: 0.16% rms , Phase 0.5 deg. rms

100kS/s

FB2-P0I10-7MV-rate799-WL130k-20130614

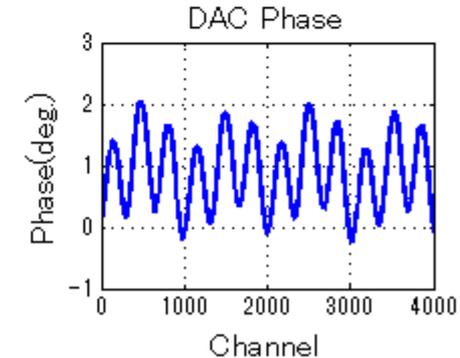
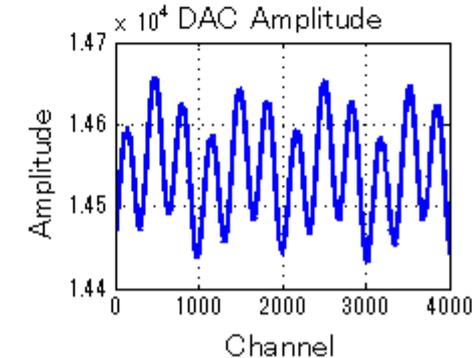
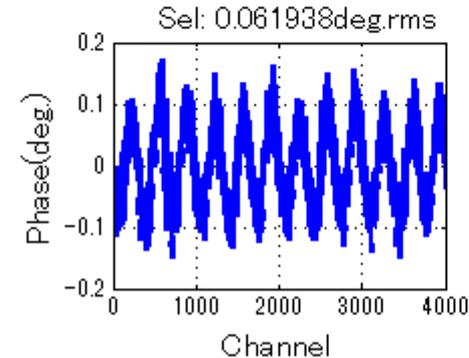
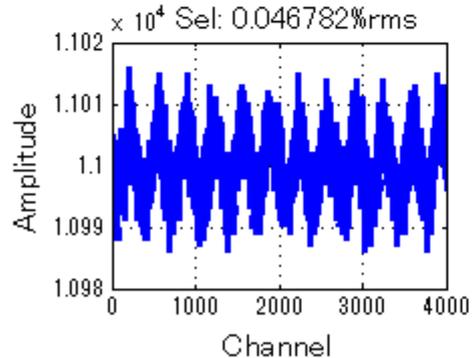
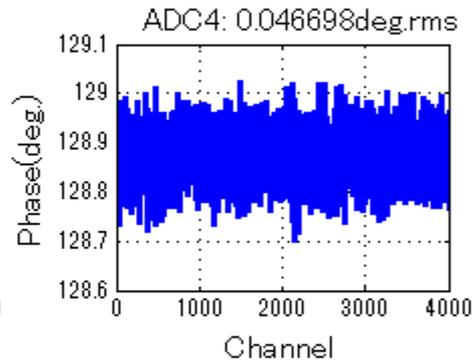
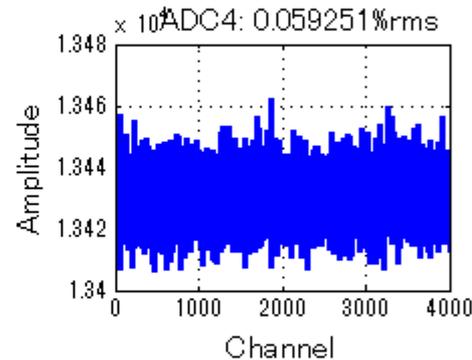
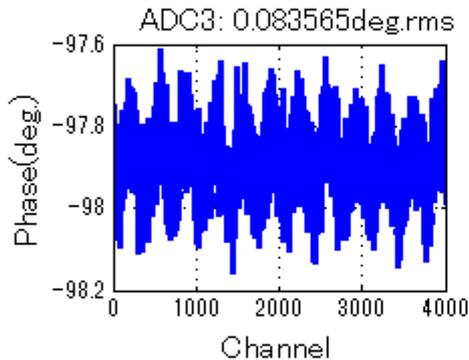
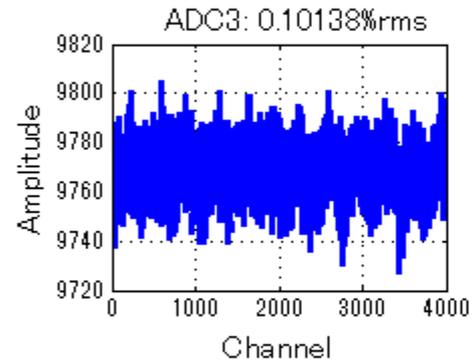
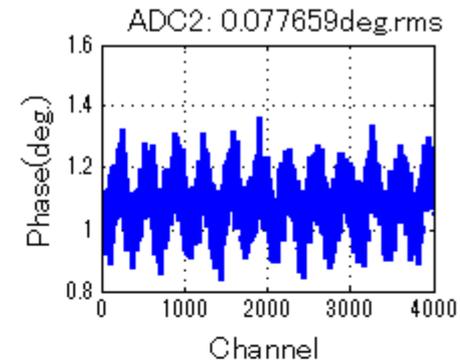
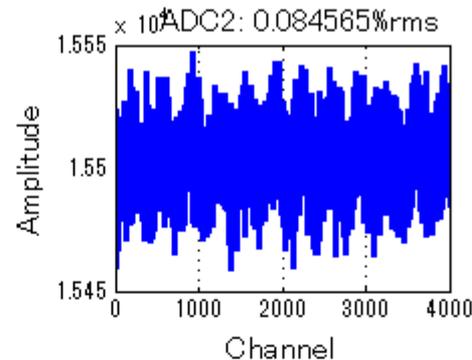
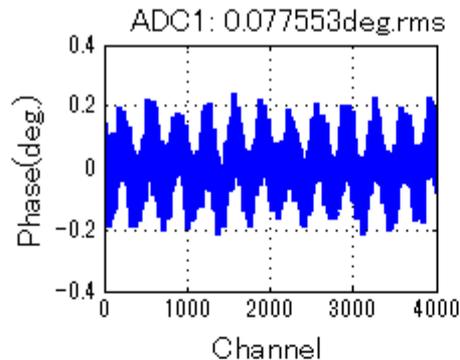
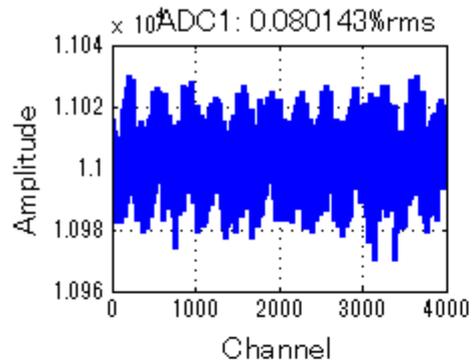


FBO: 110 kV FB : P=20,I=40

Amp: 0.04% rms , Phase 0.06 deg. rms

100kS/s

FBO-2013-0531-FBO-P20I40-IIR500k-deci799

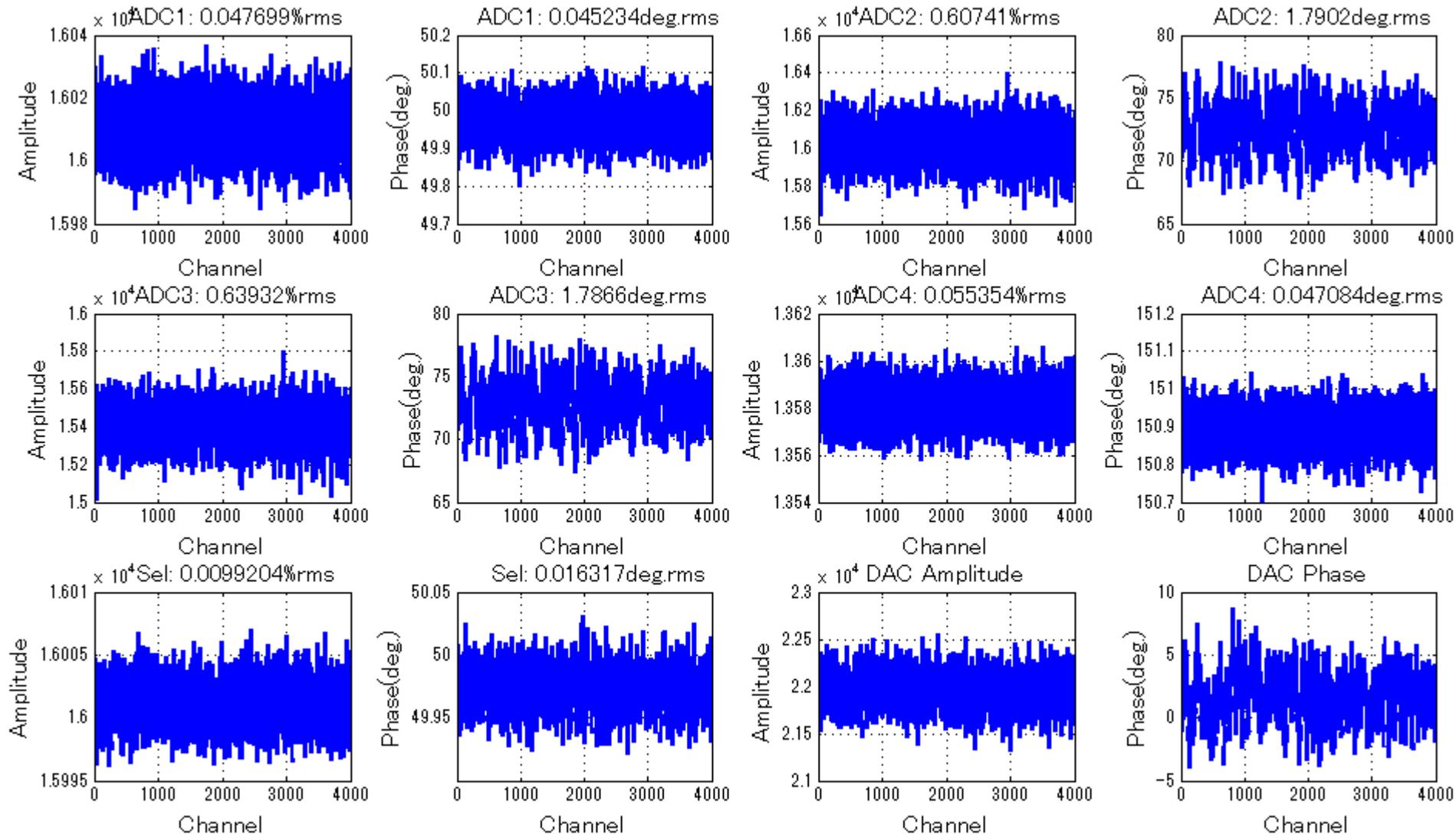


FB1: 7 MV/m FB : P=13500,I=200

Amp: 0.01% rms , Phase 0.02 deg. rms

10kS/s

0614FB1closedloop7MVKI200KP13500



FB2: 7 MV/m FB : P=6000,I=200

Amp: 0.01% rms , Phase 0.02 deg. rms

100kS/s

FB2-P6000I200-7MV-rate799-WL130k-20130614

