

第25年度 技術交流会

# 自己紹介と業務内容

加速器研究施設  
第四研究系  
金枝史織

# 自己紹介

- 2012年4月 KEK入構
  - 加速器研究施設 第四研究系
  - SuperKEKB モニターGに配属

## これまでの仕事

- Libera Brilliance+の性能評価
  - 中帯域検波器
  - 位置インターロックモニタ
- ボタン電極部の3次元熱計算
- ビームの信号強度の計算
- 研修(英語、CAD、Linux)
- CAD,3D CAD,ANSYS,EPICS,Linux,回路などの勉強
- 出張
  - 第9回、10回加速器学会
  - IBIC12/13 (International Beam Instrumentation Conference)
  - 加速器スクール など

素粒子原子核研究所  
物質構造科学研究所  
**加速器研究施設**  
共通基盤研究施設

第一研究系	J-PARC
第二研究系	J-PARC
<b>第三研究系</b>	<b>SuperKEKB</b>
<b>第四研究系</b>	<b>SuperKEKB</b>
第五研究系	LINAC
第六研究系	ILC/STF/ATF
第七研究系	PF

Magnet  
RF  
BT  
Commissioning  
Vacuum  
Monitor  
Control

# SuperKEKBのビームモニター

種類	channel数		
	HER	LER	DR
可視光モニター (SRM)	1	1	1
X線モニター (XRM)	1	1	
Large Angle Beamstrahlung モニター (LABM)	1	1	
位置モニター (BPM)	466	445	84
変位計	100	100	
横方向バンチフィードバック	1	1	1
縦方向バンチフィードバック		1	
Gated measurement	1	1	
Phase monitor	1	1	
Tune monitor	1	1	1
ロスモニター		200	34
電流モニター (DCCT)	1	1	1
バンチ電流モニター	1	1	1

- ・衝突点用軌道フィードバックモニター
- ・Gated turn by turn
- ・狭帯域検波器
- ・中帯域検波器
- ・位置インターロックモニター

中帯域検波器と位置インターロックモニターはSuperKEKBから新たに導入!

# Beam Position Monitor(BPM)

$$x = K_x X$$

$$y = K_y Y \quad (x, y \ll r)$$

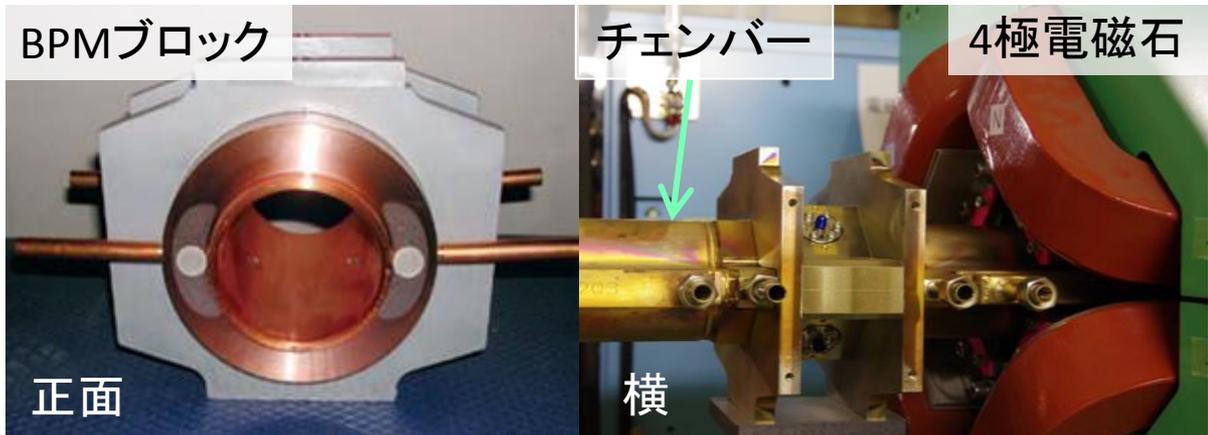
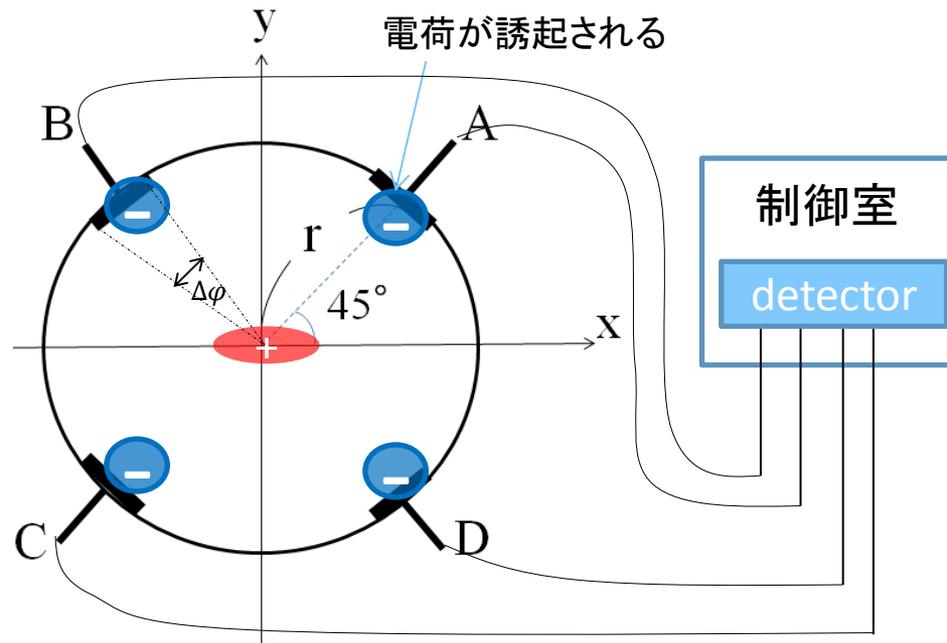
$$\begin{cases} X = \frac{(V_A + V_D) - (V_B + V_C)}{(V_A + V_B + V_C + V_D)} \\ Y = \frac{(V_A + V_B) - (V_C + V_D)}{(V_A + V_B + V_C + V_D)} \end{cases}$$

$$K_x = K_y = \frac{r}{\sqrt{2}} \frac{\Delta\phi/2}{\sin(\Delta\phi/2)}$$

チェンバーの半径、電極の幅、配置で決まる

SuperKEKBでは  
 $K_x, K_y \approx 30\text{mm}$

出力電圧



# 中帯域検波器とは

繰り返し

10kHz

Tsukuba

## 用途

ビーム軌道の振動を測定する

## 設置場所

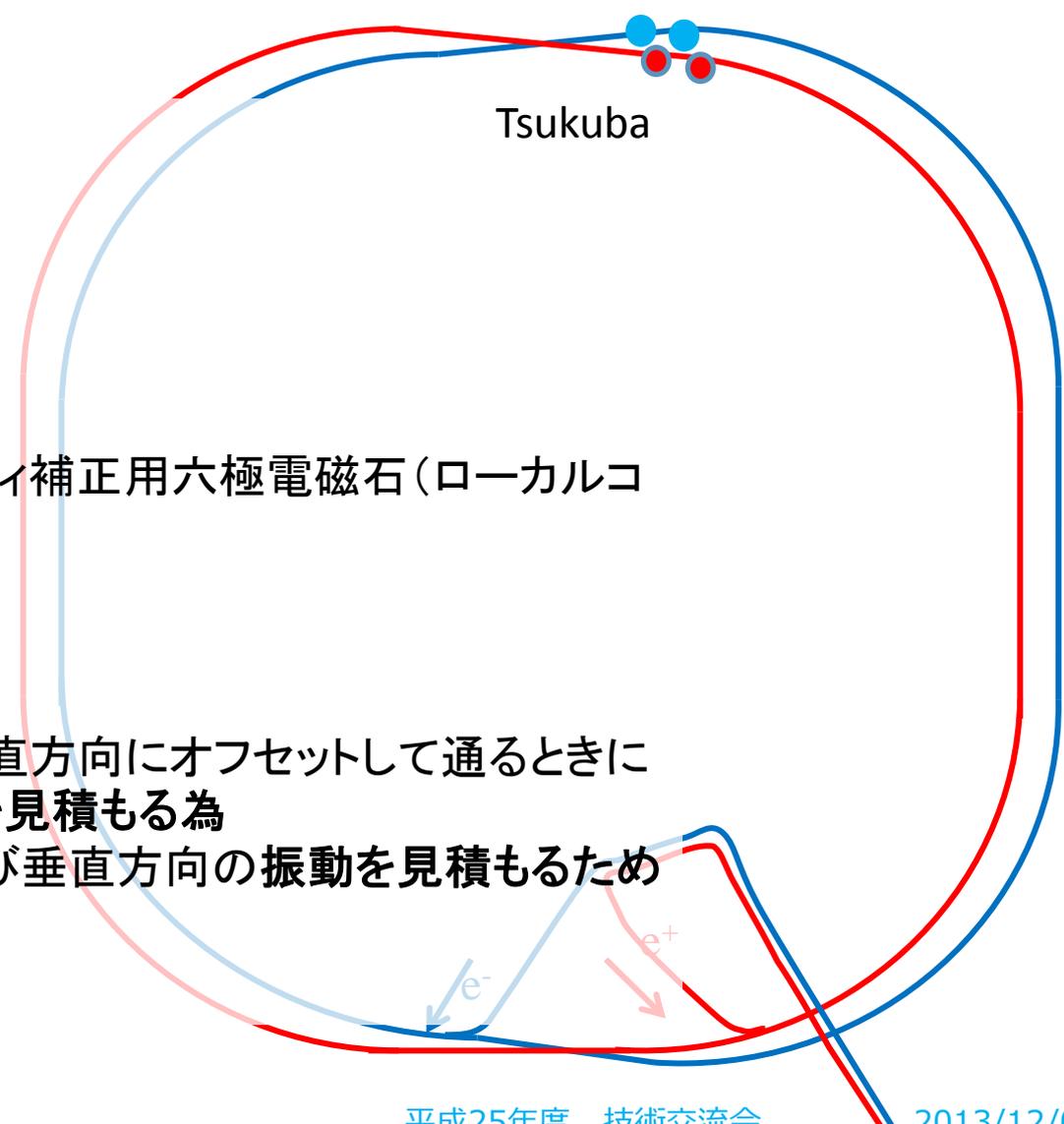
衝突点近くの局所クロマティシティ補正用六極電磁石(ローカルコレクシオン)の近傍に設置される

LER 2台 HER 2台 計4台

## 目的

- ・ビームが上記六極電磁石を垂直方向にオフセットして通るときに生ずる垂直エミッタンスの増加を見積もる為
- ・衝突点でのビームの水平および垂直方向の振動を見積もるため

要求位置分解能 2~3 $\mu\text{m}$ 以下



# ビーム位置インターロックモニタとは

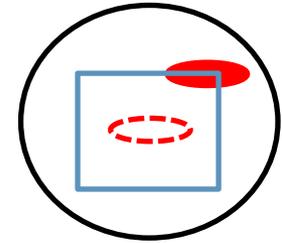
## 用途

軌道の位置が逸脱したときにアボート信号を出すモニタ

## 設置場所

未定

LER 2台 HER 2台 計4台



## 目的

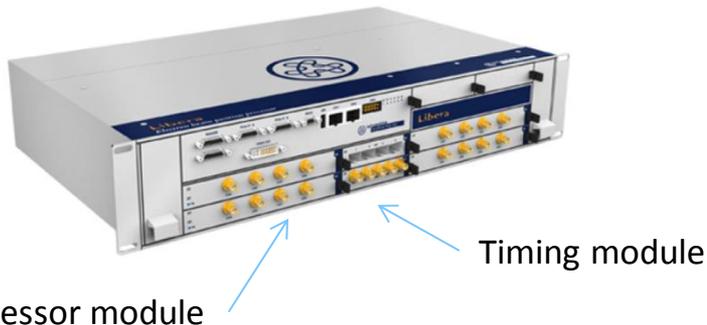
- ・KEKB運転時、軌道逸脱によってアボート窓が破壊されたことがあったため、アボート窓の大きさを超えてアボート窓が破壊されるのを防ぐため
- ・コヒーレント振動が成長する前にビームをアボートし、加速器コンポーネントがビームの直撃で破壊されるのを防ぐため

## 要求時間分解能

100 $\mu$ s以下 (SuperKEKB 10周以下)

中帯域検波器とビーム位置インターロックモニタとしてスロベニアにあるI-tec社 (Instrumentation Technology) のLibera Brilliance+を使用することになった

# Libera Brilliance+とは



Libera 1台で4台のBPMを測定できる

Data type	Data rate
Raw ADC	ADC sample rate (119MHz)
Turn by Turn	Revolution rate (100kHz)
Fast Acquisition(FA)	10kHz ←
Slow Acquisition(SA)	10Hz

## • Libera Brilliance+の性能測定

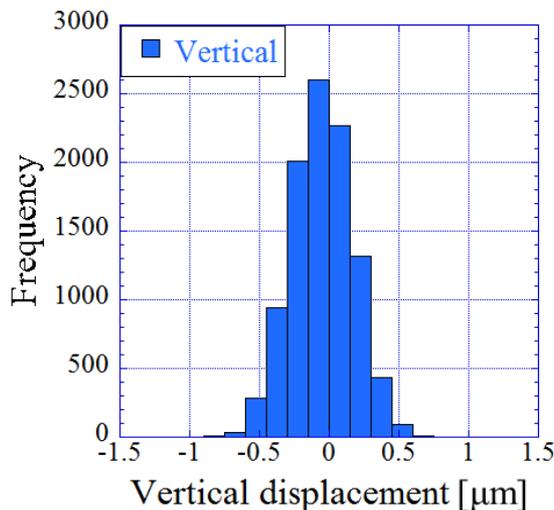
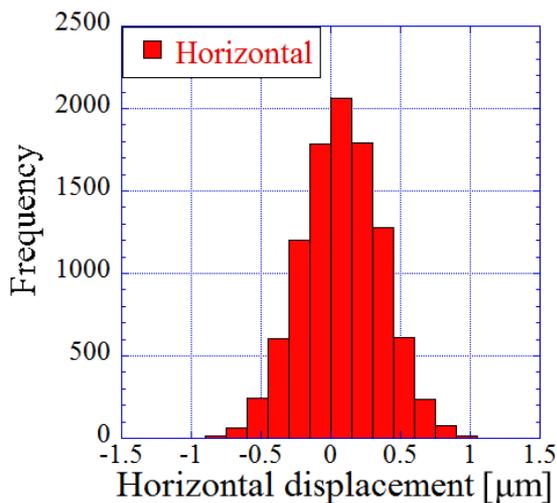
### – 位置分解能測定

中帯域検波器としての要求 $<2,3\mu\text{m}$

### – インターロック信号のレイテンシの測定

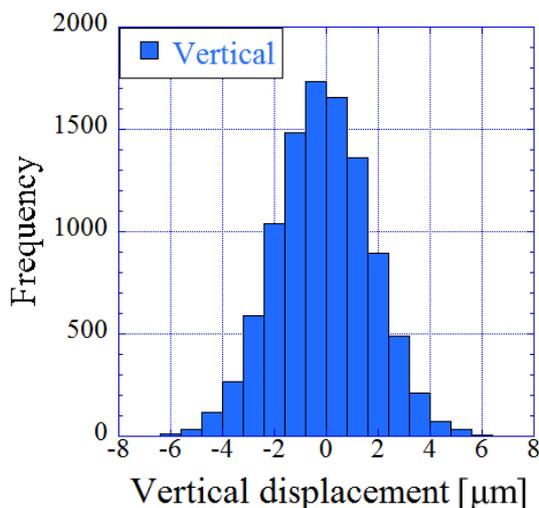
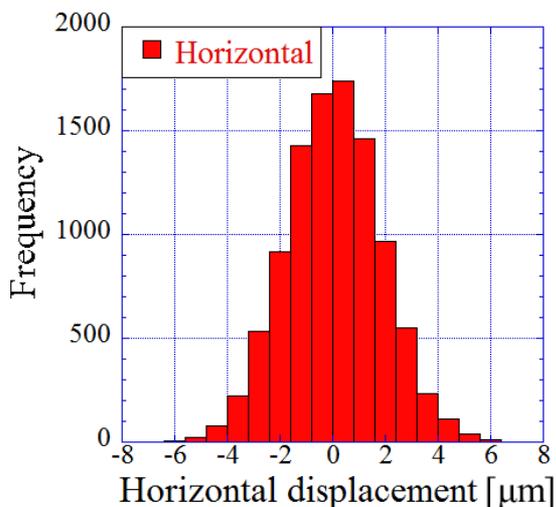
レイテンシとは、軌道逸脱の発生からインターロック信号発報までの時間(要求 $<100\mu\text{s}$ )

# 位置分解能測定結果 FA(10kHz)



Libera Input -20dBm

horizontal	vertical
0.287 [ $\mu\text{m}$ ]	0.218 [ $\mu\text{m}$ ]
k=33[mm]	(r.m.s.)



Libera Input -40dBm

horizontal	vertical
1.791 [ $\mu\text{m}$ ]	1.803 [ $\mu\text{m}$ ]
k=33[mm]	(r.m.s.)

要求分解能を満たすため、導入  
→来年度購入

# インターロックレイテンシ測定

Latency  $400 \pm 50 \mu\text{s}$   
 (40 turns  $\approx$  a synchrotron period)



これでは遅すぎて、要求レイテンシを  
 満たさない



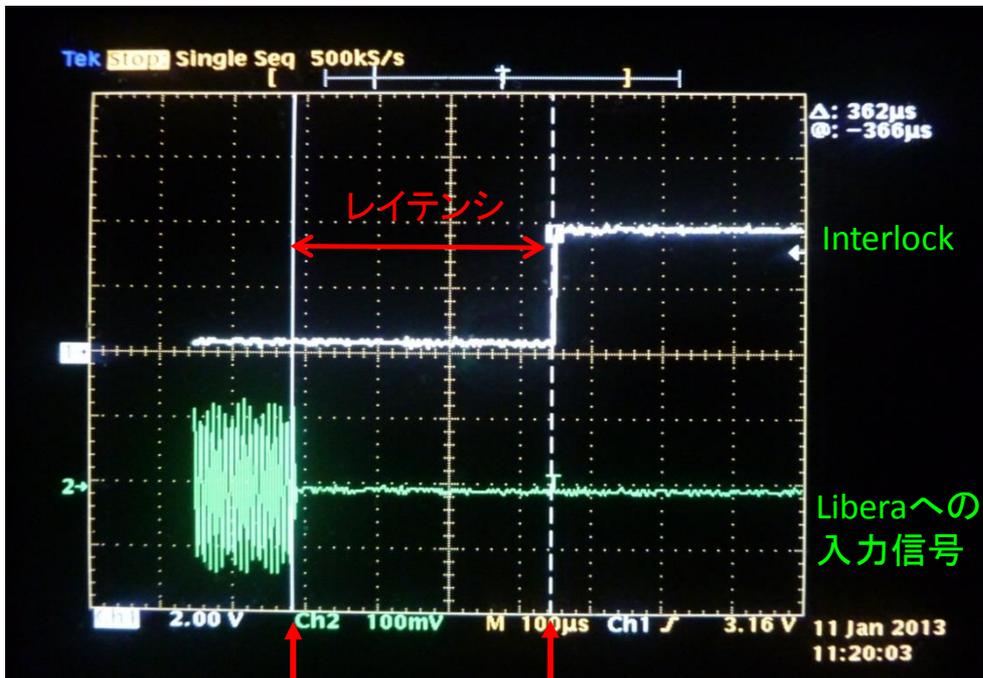
現在のLibera Brilliance+は  
 10kHz(FA)のposition dataからイン  
 ターロック信号を出している



100kHz(Turn-by-Turn)のposition dataから  
 インターロック信号を出し、レイテンシが  
 100 $\mu\text{s}$ 以下になるように改良



12月中旬～下旬に納品



Off

interlock

# まとめと今後

- Libera Brilliance+の性能評価をした
  - 中帯域検波器としての分解能が十分満たしていることが確認できた
  - インターロックモニタとしての分解能は十分でなかった
    - I-tecと相談し、速いレイテンシをもつように改良
- 今後の作業
  - レイテンシが改良されたLibera Brilliance+の性能評価
  - Phase monitor の開発

ご清聴ありがとうございました

# Back up

# Phase Monitorとは

## 用途

・1バンチ入射のビームのシンクロトロン振動の位相を測定する

## 設置場所

D5orD11

LER 1台 HER1台 計2台

要求ダイナミックレンジ

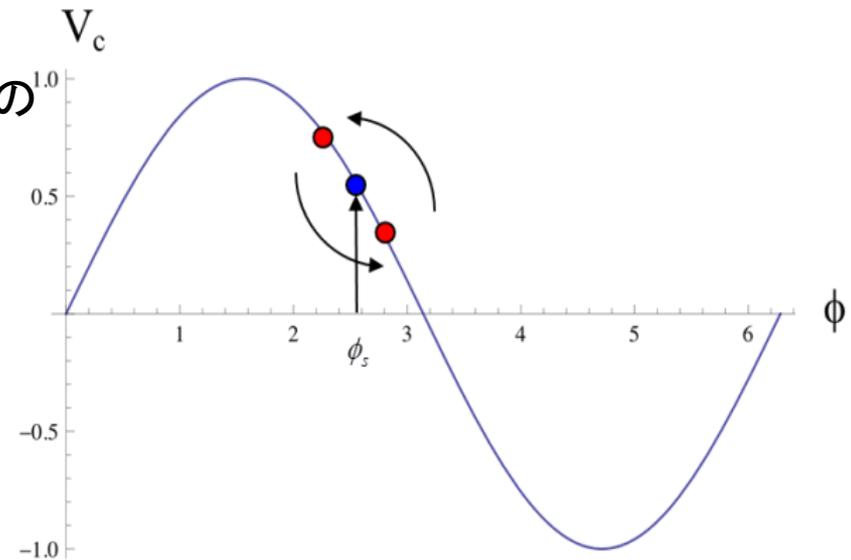
±180度

要求分解能

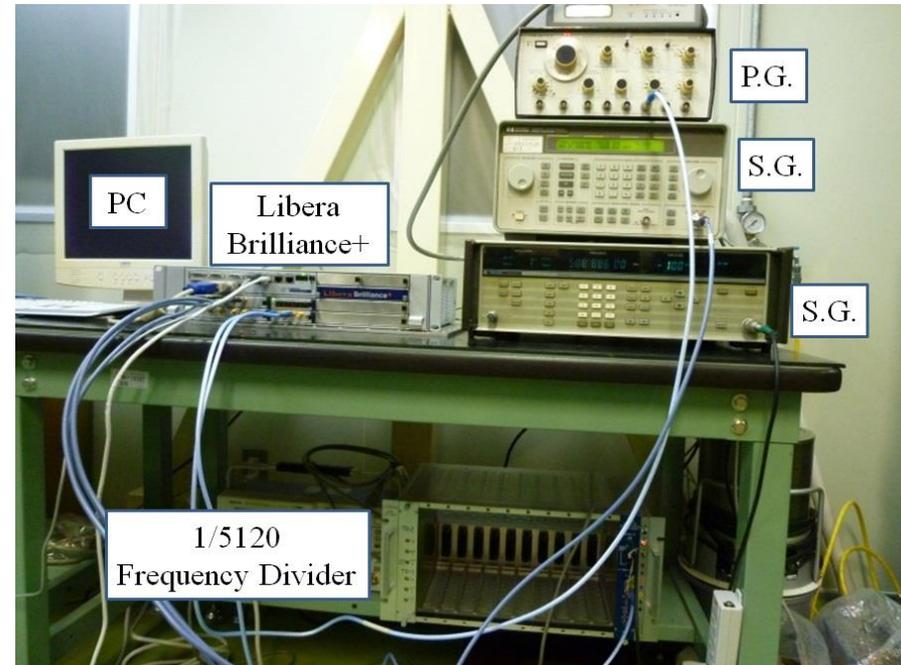
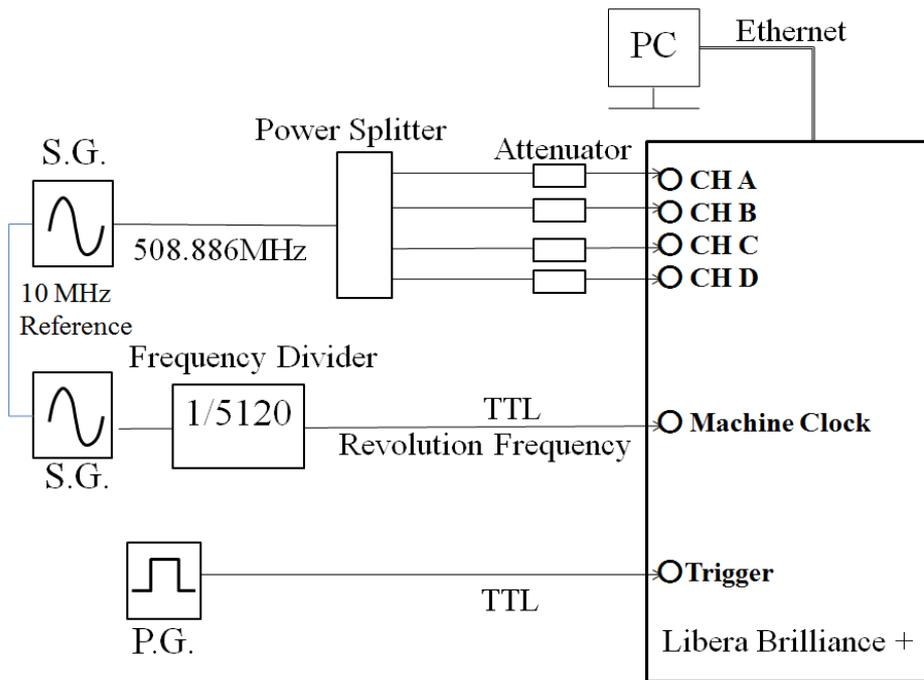
未定

繰り返し

100kHz



# 位置分解能測定ブロック図



# 位置分解能測定結果 TbT(100kHz)

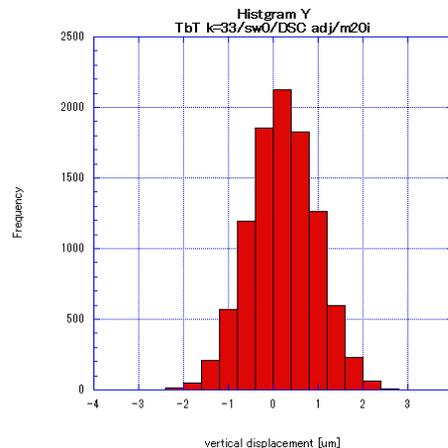
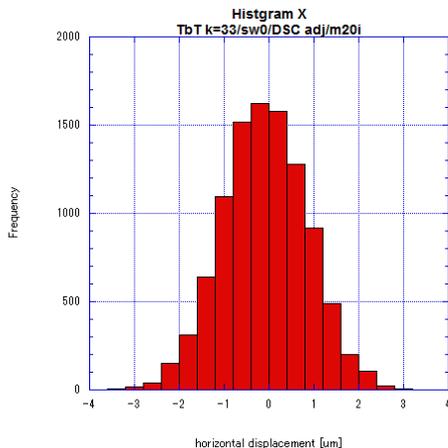
The position calculation formulas

$$X = k \frac{(V_a + V_d) - (V_b + V_c)}{V_a + V_b + V_c + V_d}$$

$$Y = k \frac{(V_a + V_b) - (V_c + V_d)}{V_a + V_b + V_c + V_d}$$

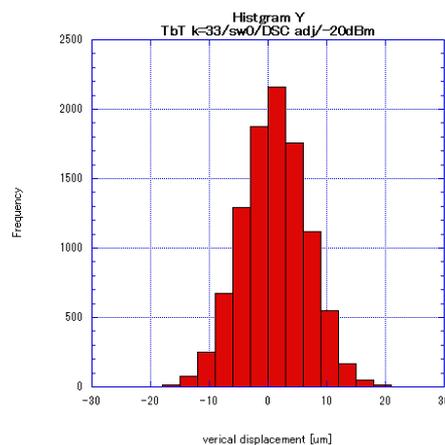
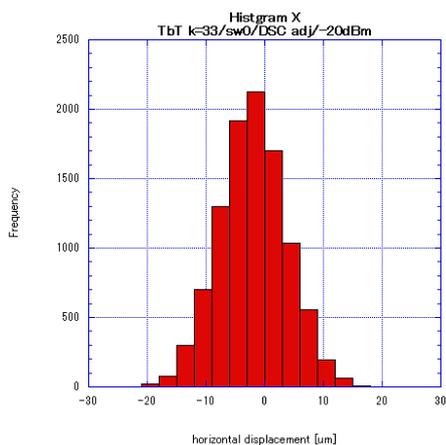
horizontal

vertical



Libera Input -20dBm

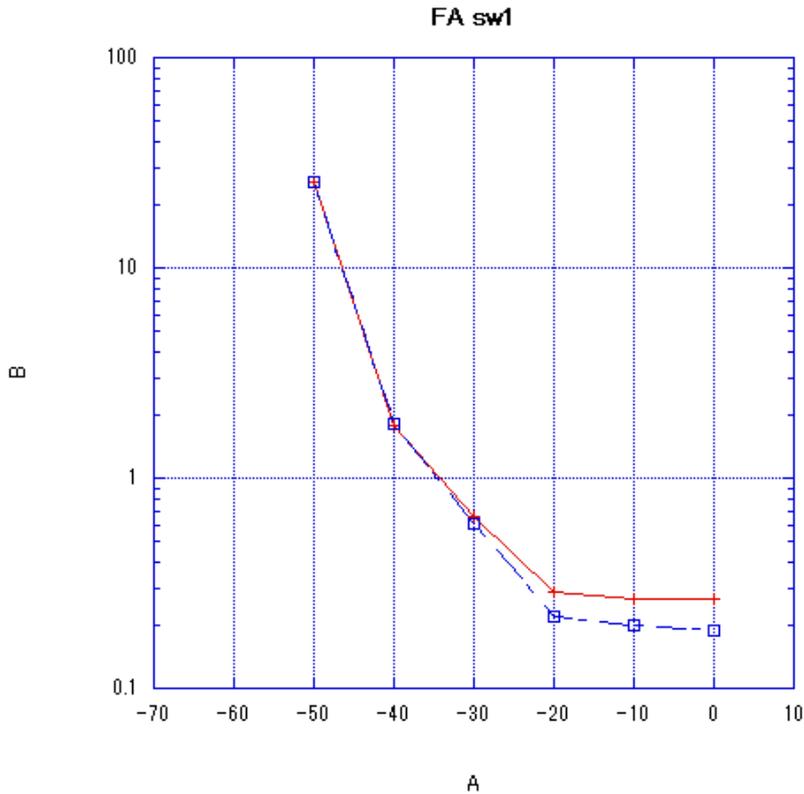
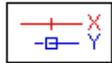
horizontal	vertical
0.938 [μm]	0.736 [μm]
k=33[mm]	(r.m.s.)



Libera Input -40dBm

horizontal	vertical
5.658 [μm]	5.556 [μm]
k=33[mm]	(r.m.s.)

# FA resolution



	Input Power	x rms[um]	y rms
FA bpm2 sw1 DSC adj	0	0.265262	0.190125
	-10	0.268247	0.199675
	-20	0.286613	0.218176
	-30	0.652372	0.605549
	-40	1.791259	1.80301
	-50	25.53852	25.75523

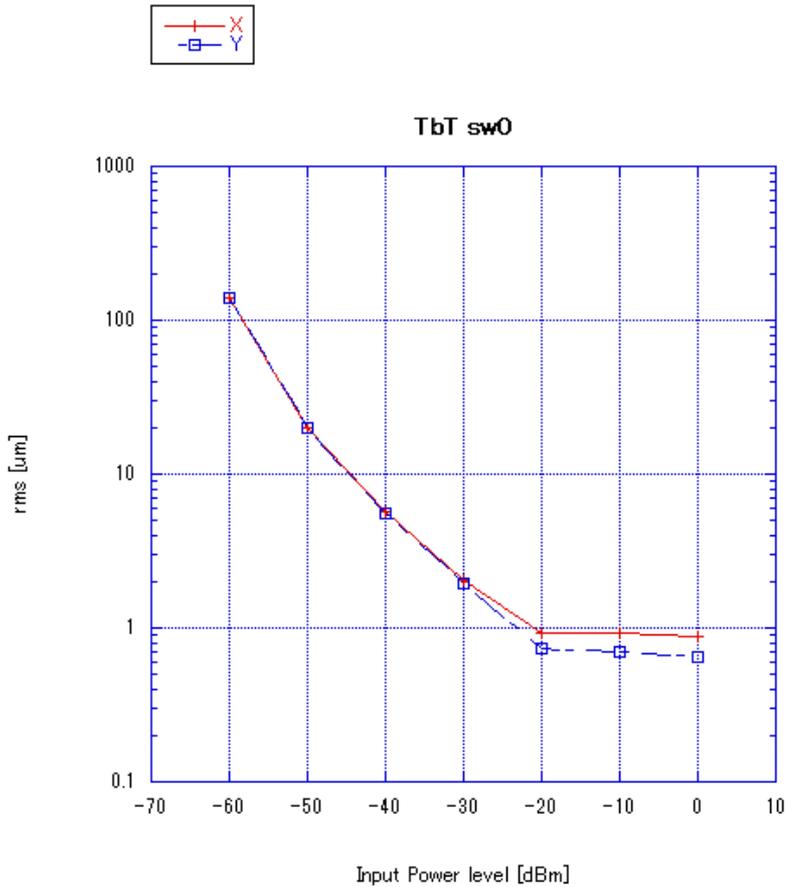
Phase I では500mA...

ちなみにSAだと  
-10dBmのとき

x:0.03[um]

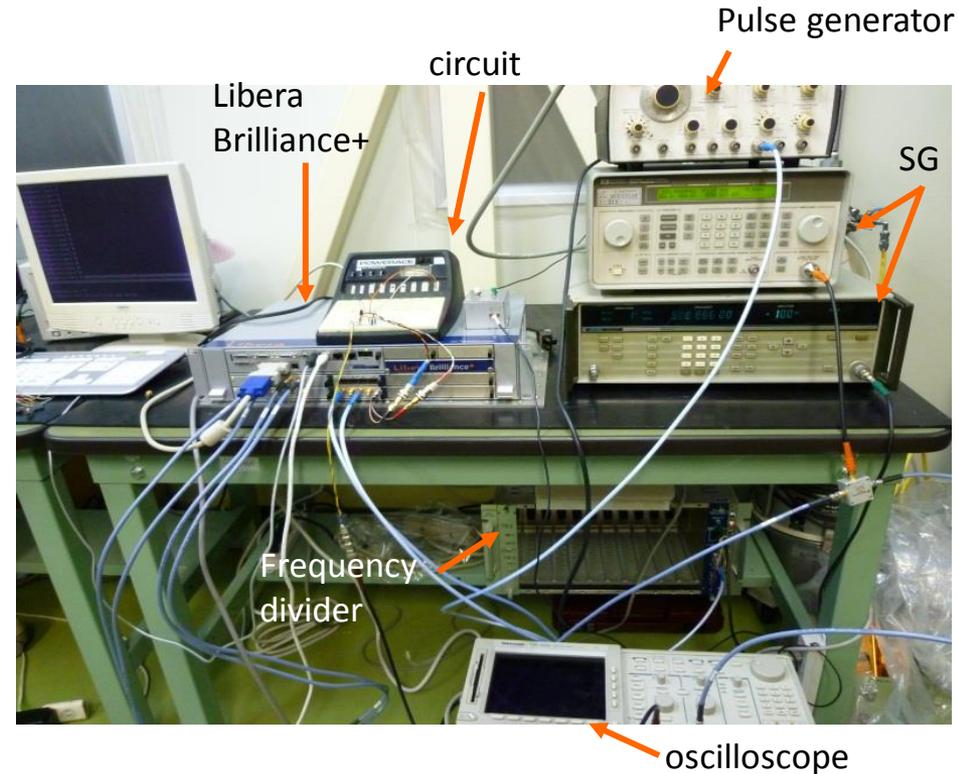
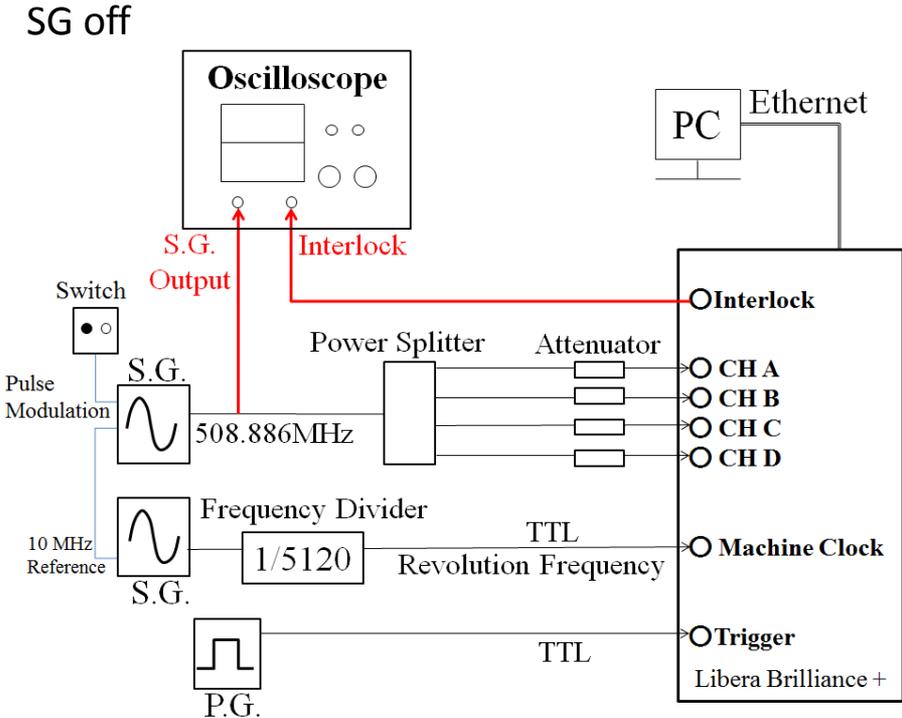
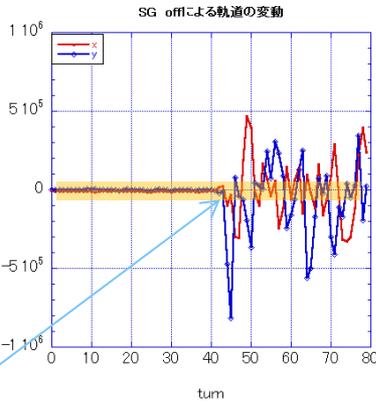
y:0.08[um]

# TbT



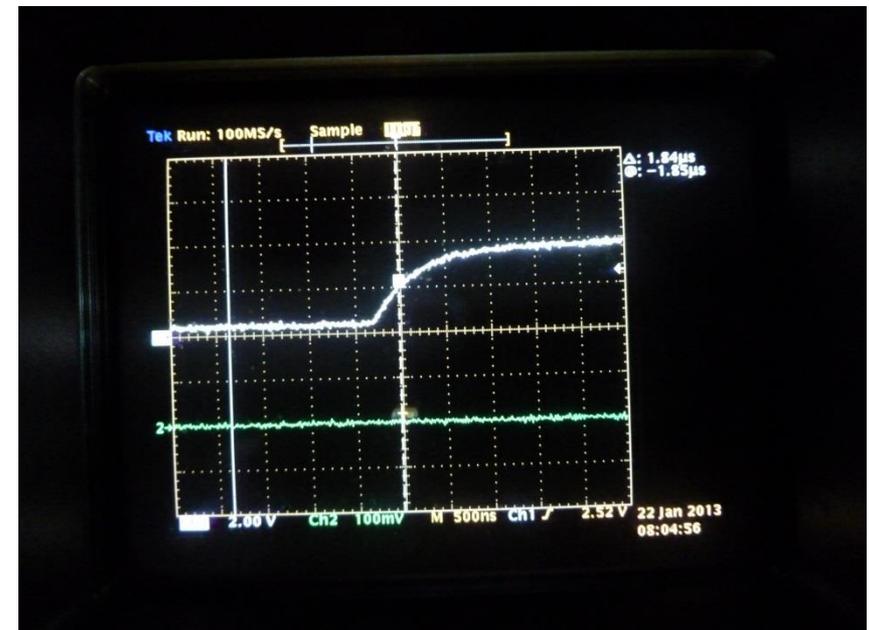
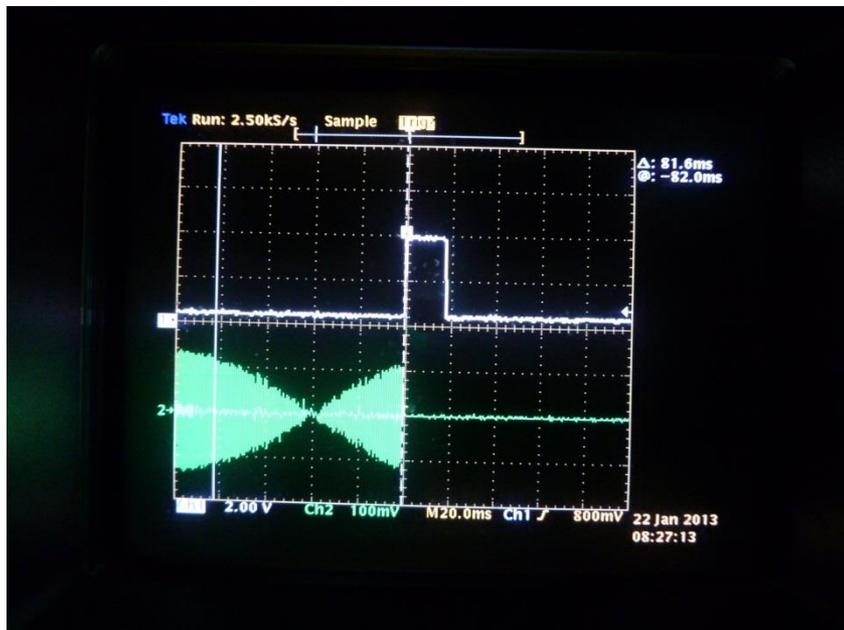
TbT bpm2 sw0 DSC adj	Input Power	x rms[um]	y rms
	0	0.873308	0.65079
	-10	0.927331	0.701622
	-20	0.9379	0.736127
	-30	2.02642	1.950088
	-40	5.657779	5.556378
	-50	19.99558	19.97853
	-60	139.5117	139.9798

# インターロックレイテンシ測定 の ブロック図



# 立ち上がり

インターロックがかかるとHiの信号を出す(約20msのパルス)  
0.7~1us程度で立ち上がる



SGのパルス変調機能を利用し、SG出力をoffにしている  
パルス変調時のキャリア信号の立ち上がり、立下り時間は10ns以下  
パルス変調信号入力(トリガ入力)からキャリア信号に変化が起こるまでのdelayは60ns以下  
よって、sg出力off用のトリガ入力からsg信号が完全にoffになるまで70ns以下

# 信号強度

SuperKEKBで想定される信号強度を以下の式を用い計算した

$$v(t) = \frac{d}{2\pi r} \left( \frac{1}{C} \int_0^t \frac{dq(t')}{dt'} e^{-(t-t')/CR} dt' \right)$$

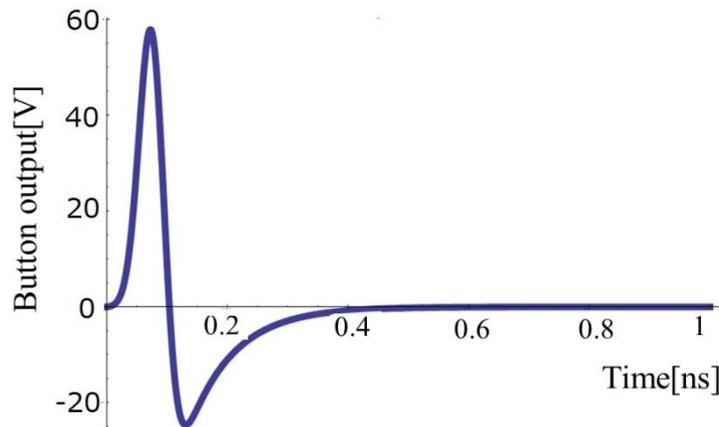
v : 電極にかかる電圧  
 q : 電極が面している部分のビーム電荷  
 z<sub>0</sub> : ビームの進行方向のバンチの中心位置  
 z<sub>1</sub> : 電極の前縁の座標  
 z<sub>2</sub> : 電極の後縁の座標  
 z<sub>c</sub> : 電極の中心座標

Ne: バンチの電荷量  
 cβ: ビームの速度  
 σ<sub>z</sub>: バンチ長  
 C : 電極容量  
 R : 終端抵抗  
 r : チェンバー半径  
 d : 電極幅

6mm  
 1.5pF  
 50Ω  
 45mm  
 6mm

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\sqrt{2}Nec\beta}{\sqrt{\pi}\sigma_z} e^{-d^2/8\sigma_z^2} \exp\left\{-\frac{(z_c - z_0(t))^2}{2\sigma_z^2}\right\} \sinh\left\{-\frac{(z_c - z_0(t))d}{2\sigma_z^2}\right\}$$

平松成範著 加速器のビームモニター より



BPM電極端に発生する電圧波形(LER)

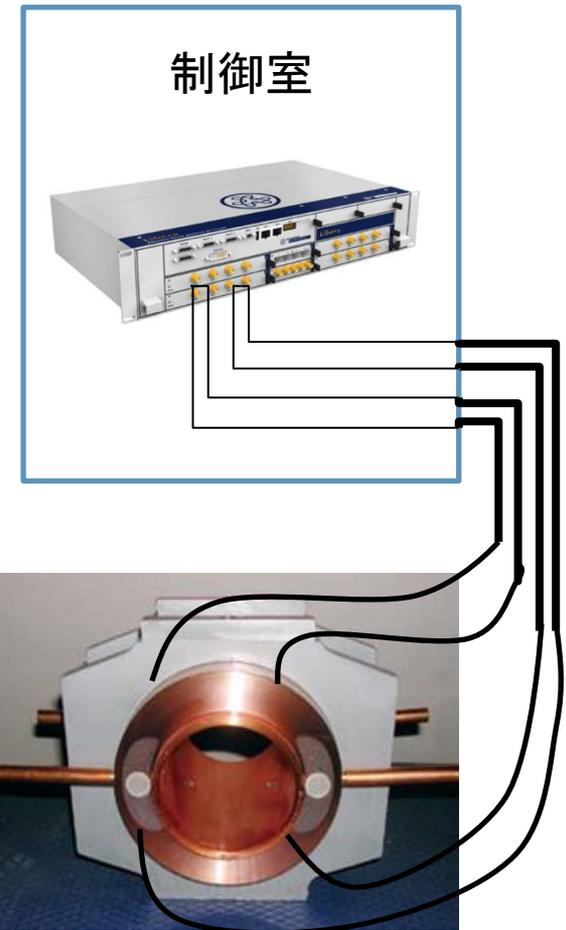
	LER	HER	unit
Energy	4.000	7.007	GeV
Beam current	3.6	2.6	A
Number of bunches	2500	2500	
Bunch current	1.44	1.04	mA
Circumference	3,016.315	3,016.315	m
Bunch length	5	6	mm
Harmonic number	5,120	5,120	
Revolution frequency	99.390	99.390	kHz
Bunch spacing	4	4	ns

# 計算結果

- (1) BPM電極が受ける電力
  - (2) 制御室での電力 (BPM電極から制御室までのケーブル減衰を考慮)
  - (3) 制御室でBPF(400-600MHz)を利用したときの電力
- ケーブル長は70mで計算  
Libera Brilliance+への入力上限は4dBm

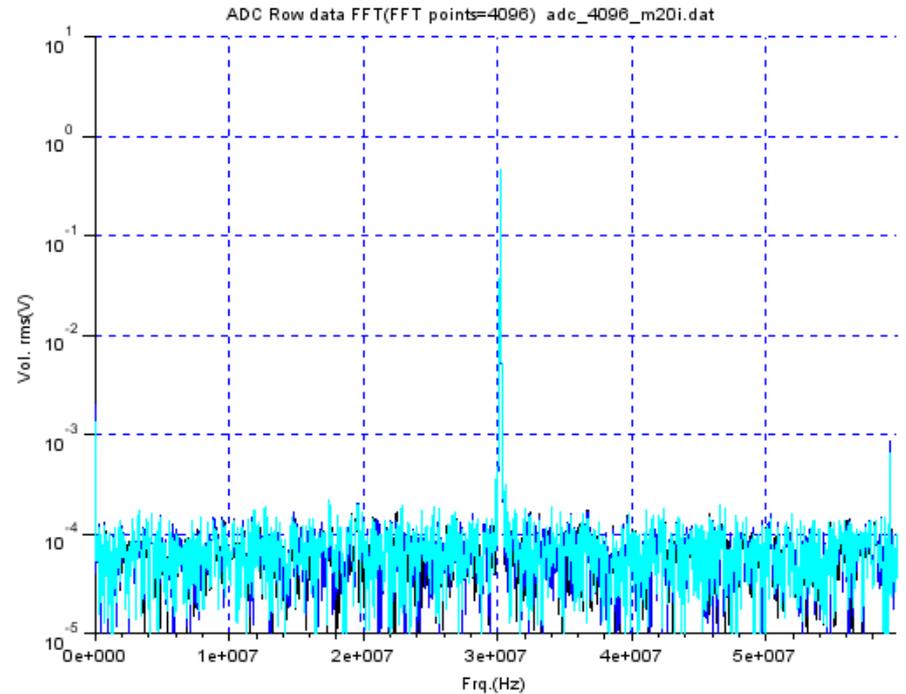
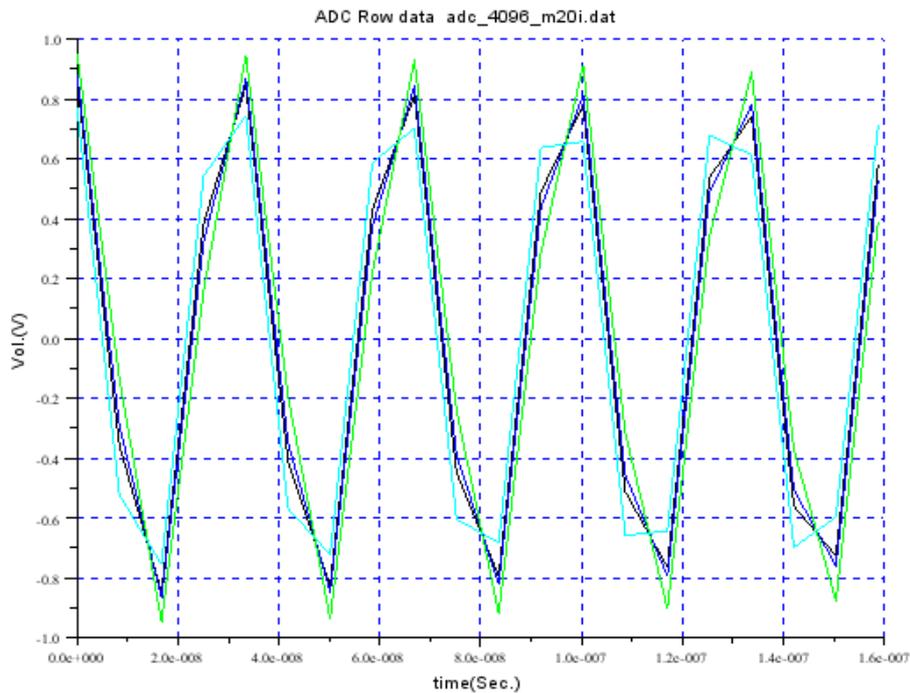
	全電力[dBm]			
Current[A]	3.6(LER)	2.6(HER)	1	0.5
(1)電極端	28.6	25.8	17.5	11.5
(2)制御室	11.1	8.3	0.0	-6.0
(3)制御室+BPF	-3.9	-6.7	-15.0	-21.1

	508MHz成分[dBm]			
Current[A]	3.6(LER)	2.6(HER)	1	0.5
(1)電極端	3.7	0.9	-7.4	-13.4
(2)制御室	-2.9	-5.7	-14.0	-20.1
(3)制御室+BPF	-3.9	-6.7	-15.0	-21.1



電力は小さくても-20dBm程度

# ADC raw data -20dbm(Libera Intut)



$$508.886\text{MHz} - 4 \times 119.6677\text{MHz} = 30.2152\text{MHz}$$

SNR(Ch.A)= 44.46 dB