

企画セッション アライメント技術

「測量から、

アライメントを崩す要因探索のための変動・振動測定まで」

From Survey to fluctuations and vibration Measurement
for source of brake alignment

松井 佐久夫(理研)

目次

1. 測量・(アライメント)
2. 安定化のための環境計測
(アライメントを崩す要因探索)
 - 2-1 温度
 - 2-2 湿度、水位、HLS、WPS、傾斜、亀裂、伸縮
(温度と振動除く)
変動原因特定した例
 - 2-3 振動
3. IWAA(加速器アライメント国際会議)
4. まとめ

1. 測量・(アライメント)

1) 測量の変遷

江戸時代 伊能忠孝

単路線から網平均計算

加速器の測量 星形測量(インバールワイヤ、セオドライト(角度の測定))

→網測量 SPring8の例 距離計(ME5000)+角度測定(T3000)

網の硬さ

2) BASICプログラムの検証と改良、使用実績

3) レーザートラッカー、リング網測量、相対的な誤差楕円

4) 測量器 距離計ME5000、レベル(N3、オートレベル)、鉛直器(NL)

5) 測量器 校正(レベルの場合)

6) 温度勾配による光の屈折

7) シミュレーションの用途

8) Excel VBAへの書換え

9) 床の測量基準作り

10) レーザートラッカーで発生した問題

1) 測量の変遷

伊能忠敬の測量方法



距離の計測

NHKホーム
ページより



目盛り 1度



(北からの)角度の計測

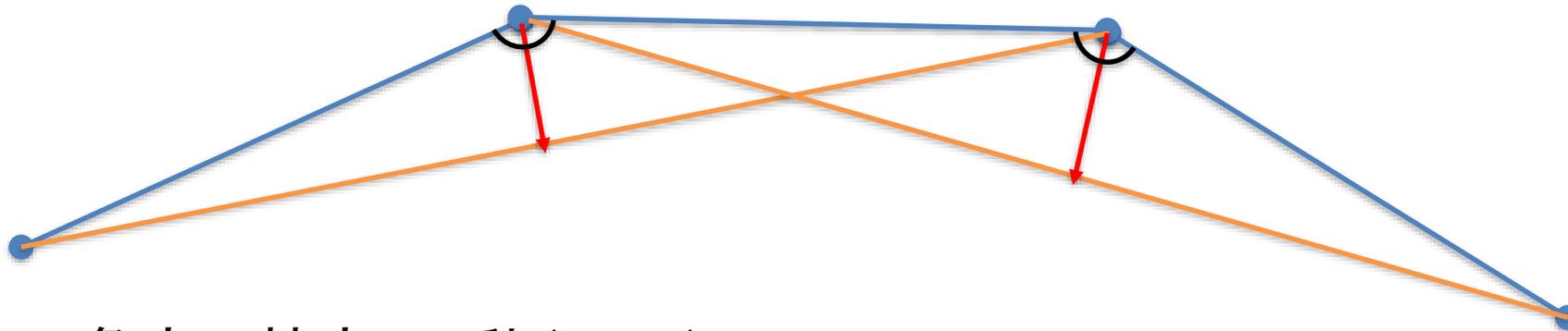
- 星形測量

大きな円形加速器 わずかな曲がり角なので測定難

→垂線の長さを測定

インバールワイヤと専用測長器使用

Endo.K: 『Precise Alignment of Magnets in the TRISTAN Electron Ring』, KEK Internal 86-12, August 1986.



角度の精度 ~ 1秒 (5 μ rad) 10mで50 μ m 20mで0.1mm
距離の精度 干渉計で校正されたインバールワイヤ

単路線から網平均計算

モニュメント上の距離計ME5000

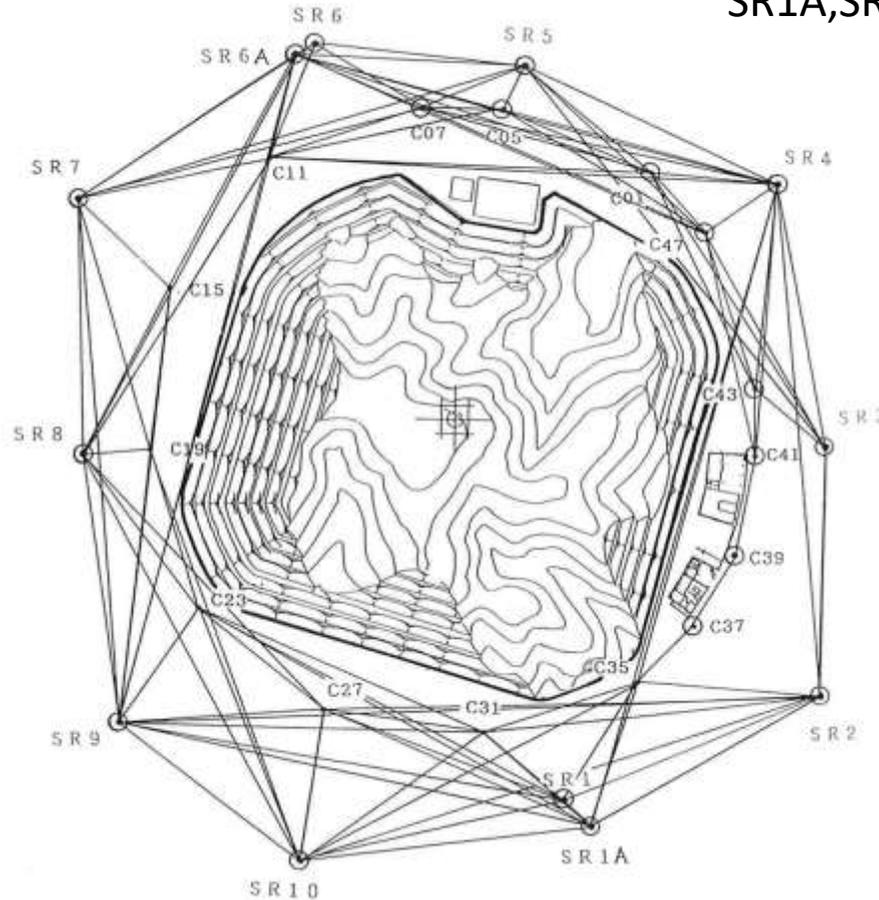


外周基準点(SR7)上の角度測定
T3000



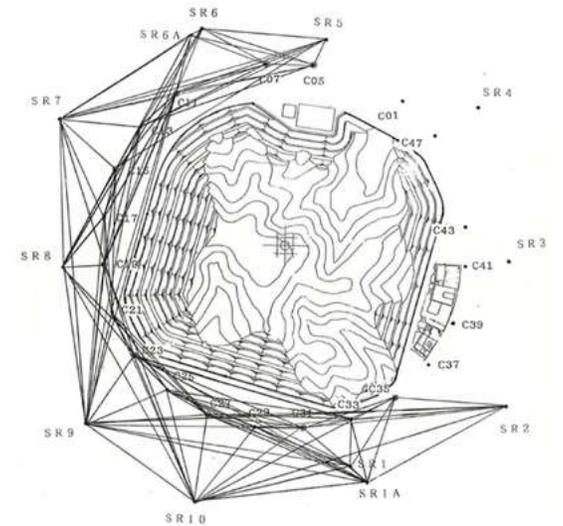
第1回モニュメント測量
(1993.1).

- 距離を測ったところ
- 角度を測るのにセオドライトを置いた点



C01~C47 モニュメント(BM磁石のところ)
SR1~SR10 外周基準点
SR1A,SR6A 副点(4辺で囲むため)

第2回モニュメント測量
(1993.10).



網の硬さ

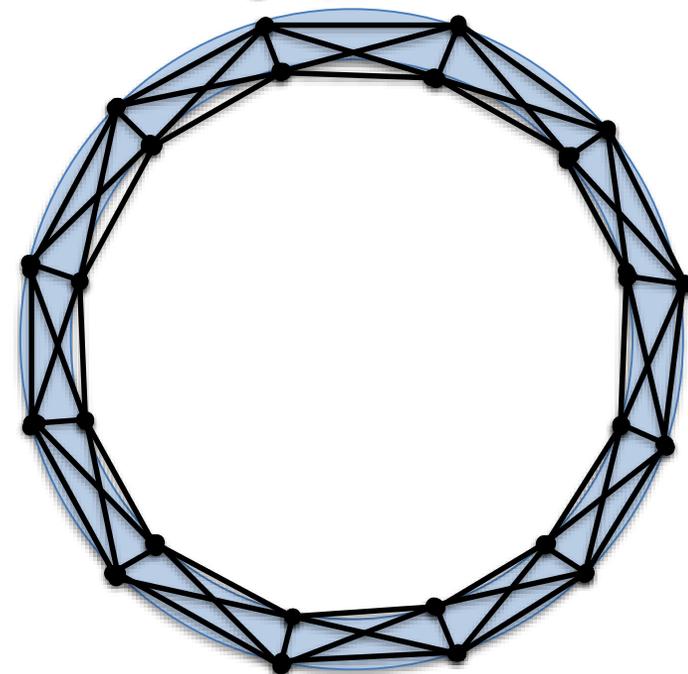
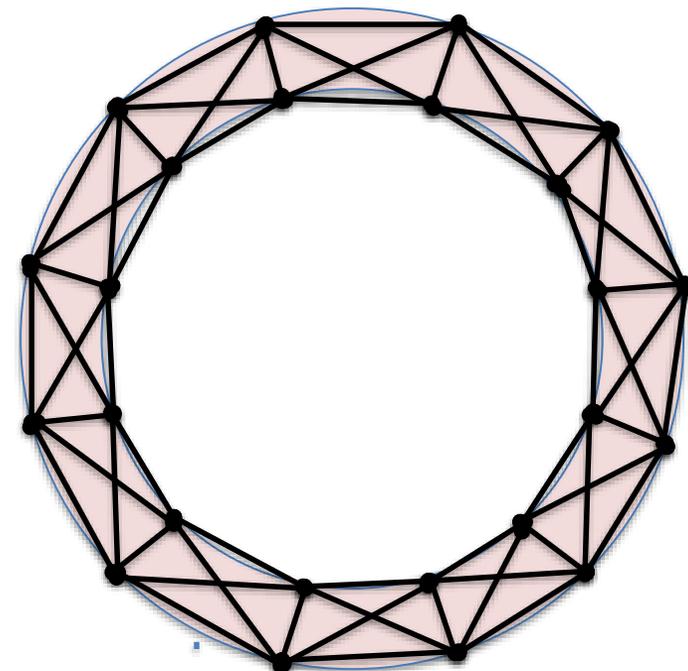
網が木の棒で組み立てられているとする。

測量：組まれている各点の座標を求める。

距離の誤差：組まれている点で伸び縮みやすさ。

角度精度：棒と棒の角度の変わりやすさ。

外から力を加えた時（エラーの要因が加わった時どのくらい変形しやすいか、変形しやすい網で当てはめる＝計算しても誤差は大きい。硬い網で当てはめると誤差は小さくできる。）



網平均計算 のプログラム

254

細野武庸 他:『測量叢書 第1巻 改訂版 基準点測量』,
日本測量協会(1992) p252~256

数値平均法 255

この本との出
会い!

```

6120 B=
6130 I=
6140 B=
6150 IF AN(J1,J0)=1 GOTO 6330
6160 IF I=0 GOTO 6220
6170 FOR J=1 TO NP*2
6180 A(I,J)=CS(J)
6190 NEXT J
6200 AL(1)=CL:P(1)=-1/I
6210 IF K1=9999 THEN NT=I:GOTO 7000
6220 FOR J=1 TO NP*2:CS(J)=0:NEXT J
6230 CL=0:I1=0:AN(J1,J0)=1
6240 I=I+1
6250 A(I,J1*2-1)=E1:A(I,J1*2)=F1
6260 A(I,J0*2-1)=-E1:A(I,J0*2)=-F1
6270 AL(I)=0:G(I)=0
6280 FOR J=1 TO NP
6290 CS(J)
6300 NEXT
6310 CL=CL+AL(I)
6320 I=I+1
6330 A(I,J)
6340 A(I,J)
6350 AL(I)
6360 FOR J=1 TO NP
6370 CS(J)
6380 NEXT
6390 I1=I1+1:CL=CL+AL(I)
6400 I=I+1:GOTO 6030
6410 STOP
7000 REM***DISTANCE***
7010 I=1
7020 READ K1,K2,AS
7030 IF K1=9999 THEN NS=I-1:GOTO 7700
7040 IO=I+NT
7060 IF K2=9999 THEN NS=I-1:GOTO 7700
7062 NEXT
7064 GOSUB 9200
7070 A(IO)
7080 A(IO)
7090 GOSUB 9400
7100 AS=AS+S3
7110 B4=(S2^(1/2)-AS)/S2^(1/2)*RO
7120 GOSUB 9700
7130 AL(IO)=B4:P(IO)=P
7140 I=I+1:GOTO 7020
7700 REM***
7710 FOR I=1 TO NT+NS
7720 FOR J=1 TO NP*2
7730 S=A(I,J+2*NR):A(I,J)=S:GOSUB 9280
7740 PRINT S:LPRINT S:TAB(10*J);
7750 NEXT J:LPRINT:NEXT I
7752 FOR I=1 TO NT+NS
7754 FOR J=1 TO NP*2
7760 S=A(I):GOSUB 9280:S1=S
7770 S=P(I):GOSUB 9280:S2=S
7780 PRINT I:S1:S2
7790 LPRINT TAB(10):S1:TAB(20):S2:TAB(30):"(:I:)"
7800 NEXT I
7810 LPRINT
7820 GOTO 1000
7830 STOP
    
```

角の観測方程式
の組立て

シュライバーの消去法

```

6370 CS(J)=CS(J)+A(I,J)
6380 NEXT J
6390 I1=I1+1:CL=CL+AL(I)
6400 I=I+1:GOTO 6030
6410 STOP
7000 REM***DISTANCE***
7010 I=1
7020 READ K1,K2,AS
7030 IF K1=9999 THEN NS=I-1:GOTO 7700
7040 IO=I+NT
7042 FOR J=1 TO NP
7050 IF K1=9999 THEN NS=I-1:GOTO 7700
7060 IF K2=9999 THEN NS=I-1:GOTO 7700
7062 NEXT
7064 GOSUB 9200
7070 A(IO)
7080 A(IO)
7090 GOSUB 9400
7100 AS=AS+S3
7110 B4=(S2^(1/2)-AS)/S2^(1/2)*RO
7120 GOSUB 9700
7130 AL(IO)=B4:P(IO)=P
7140 I=I+1:GOTO 7020
7700 REM***
7710 FOR I=1 TO NT+NS
7720 FOR J=1 TO NP*2
7730 S=A(I,J+2*NR):A(I,J)=S:GOSUB 9280
7740 PRINT S:LPRINT S:TAB(10*J);
7750 NEXT J:LPRINT:NEXT I
7752 FOR I=1 TO NT+NS
7754 FOR J=1 TO NP*2
7760 S=A(I):GOSUB 9280:S1=S
7770 S=P(I):GOSUB 9280:S2=S
7780 PRINT I:S1:S2
7790 LPRINT TAB(10):S1:TAB(20):S2:TAB(30):"(:I:)"
7800 NEXT I
7810 LPRINT
7820 GOTO 1000
7830 STOP
    
```

距離の観測方程
式の組立て

```

9030 E1=-D1/(C1^2+D1^2):F1=C1/(C1^2+D1^2)
9040 C2=XJ(J0)-XJ(J2):D2=YJ(J0)-YJ(J2)
    } 角の観測方程式の係数計算サブルーチン
9110 PRINT T1,T2
9120 RETURN
9122 REM***SUB***
9130 C1=XJ(J2)-XJ(J1):D1=YJ(J2)-YJ(J1)
9132 Y3=YJ(J2)+YJ(J1):Y3=Y3/2
9140 S2=C1^2+D1^2:S=S2^(1/2)
9150 E1=C1/S2*RO:F1=D1/S2*RO
9160 RETURN
9162 REM***SUB***
9170 FOR JX=1 TO NP*2
9180 FOR JY=1 TO NP*2
9190 AN(JX,JY)=0
9200 NEXT JY:NEXT JX
9210 RETURN
9220 REM***SUB***
9230 T=ATN(Y/X)/RA
9240 IF X<0 THEN T=T+180:GOTO 9260
9250 IF Y<0 THEN T=T+360
9260 RETURN
9270 REM***SUB***
9280 SX=ABS(S):SS=SGN(S)
9290 SX=INT(SX*(1+5E-11)*100)/100
9300 S=SS*SX
9310 RETURN
9320 REM***SUB***
9330 SS=SGN(S):S=ABS(S)
9340 S=INT(S*1000+.5)/1000
9350 S=SS*S
9360 RETURN
9370 STOP
9400 REM***SUB***
9410 AM=.9999:A0=63774001:E2=6.6743E-03
9420 S1=SIN(36*RA)
9430 SM=A0*(1-E2)/(1-E2*S1^2)^(3/2):SN=A0/(1-E2*S1^2)^(1/2)
9440 S3=AM*(1+Y3^2/(2*SM*SN*AM^2))+Y3^4/(24*(SM*SN*AM^2)^2)
9450 RETURN
9600 REM***SUB***
9610 SG=SGN(S):S=ABS(S)
9620 SD=INT(S/10000):S1=S-10000-SD:SM=INT(S1*100):SS=S1*100-SM
9630 S=SG*(SS/.6+SM)/60+SD
9640 RETURN
9700 REM***SUB***
9710 M1=.3:U1=15:R1=3*E-06:S2=S2+1000000!
9720 P=MT^2*S2/((U1^2+R1^2)*RO^2)
9730 RETURN
10000 REM***TAKAKU-HYOGO
10010 REM***X,Y DATA
10020 DATA 301, -92491.540,88919.350
10030 DATA 302, -94163.680,92361.480
10040 DATA 303, -95960.550,90073.470
    } 既知点座標データ
    
```

サブルーチン等

2) BASICプログラムの検証と改良

- プログラムの改良

- 入力部: 名前をそのまま使う
- 計算結果から推測される角度、距離と実測値の差の打ち出し
- (絶対・相対)誤差楕円部の追加
- 逆行列の計算時 桁落ち防止のための軸だし
- 既知点として一軸のみ固定
- グラフィック部の追加
- Excel VBA に書き換え

これを見ると計算がうまくいっているか、どこにミスがあるかなど判断できる

(使用 1) SPring8蓄積リングの基準点とモニュメント

(使用 2) XSBT系(SACLAからSPring-8のシンクロトンへのBT系)
180m モニュメント設置と網平均計算

(使用 3) タイの放射光施設



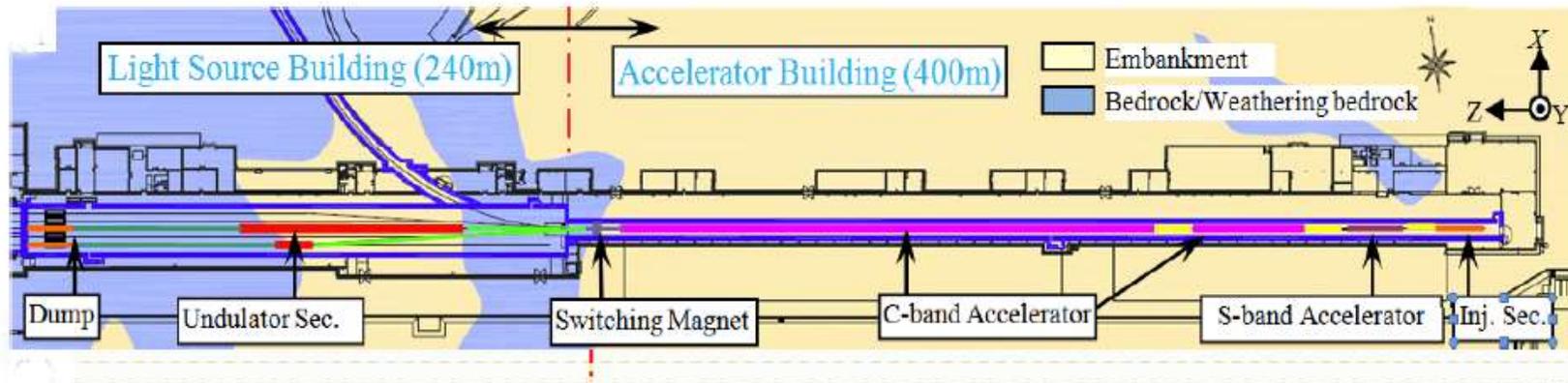
タイにトラックを運んで測量・再アライメント

(使用 4) XFEL SACLA モニュメントの網平均計算

30m間隔のモニュメントの測量

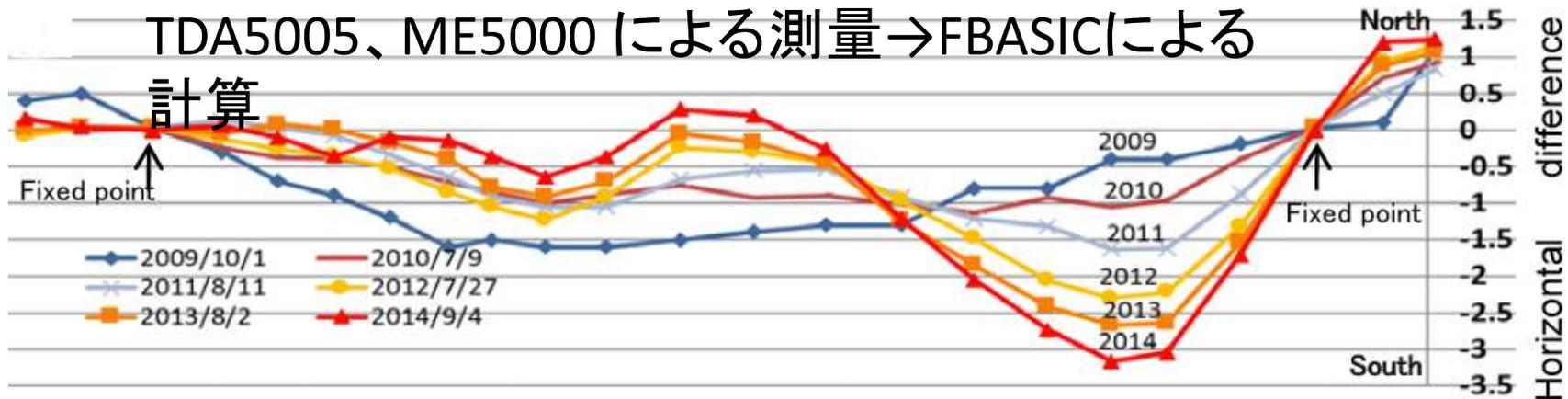
直線に近くても網平均で計算

最初は機器を据え付けるため、その後は変化のモニター



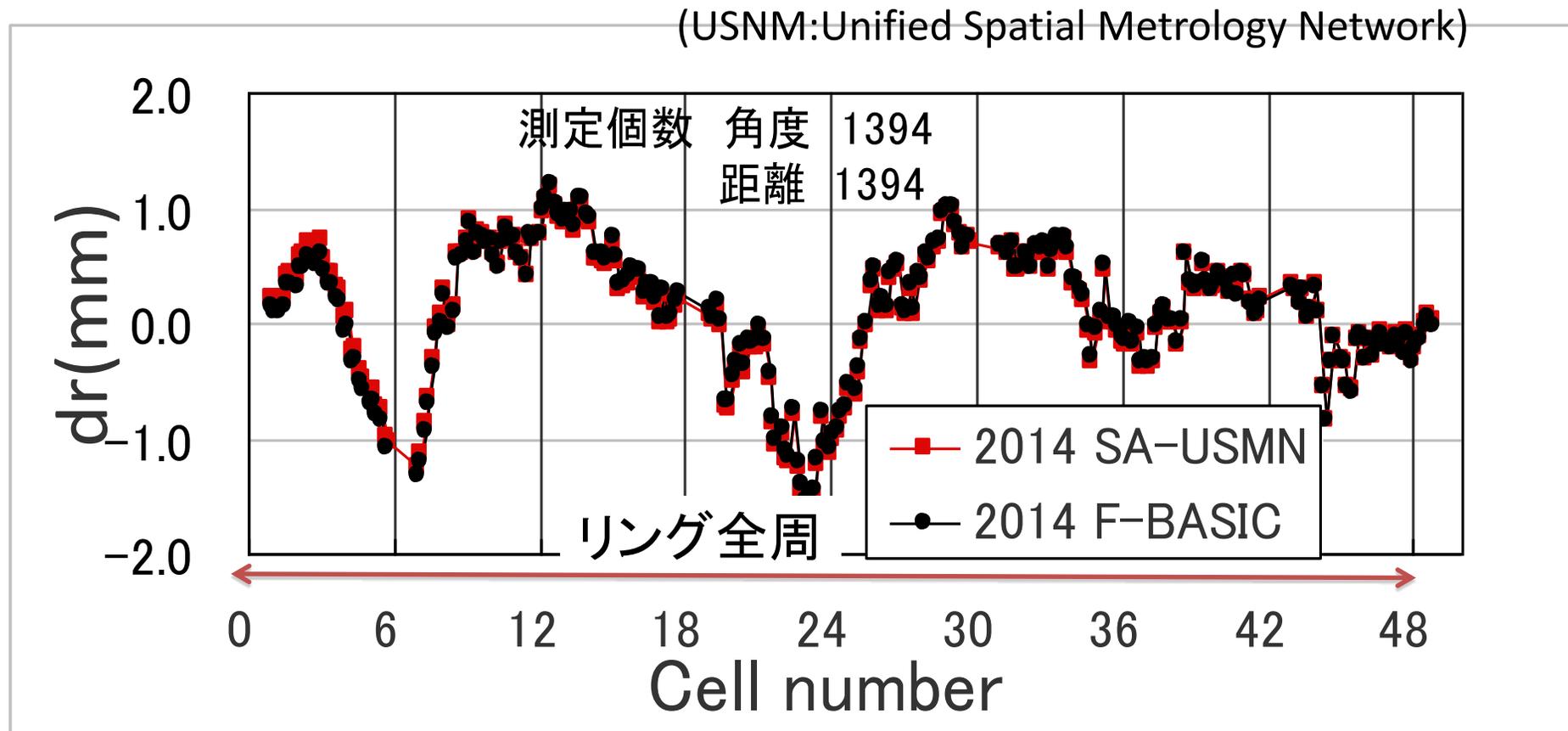
TDA5005、ME5000 による測量 → FBASIC による

計算



(検証1) (株)山口測量による結果との比較 リング外周基準点の測定の
同じデータで計算→よく一致した

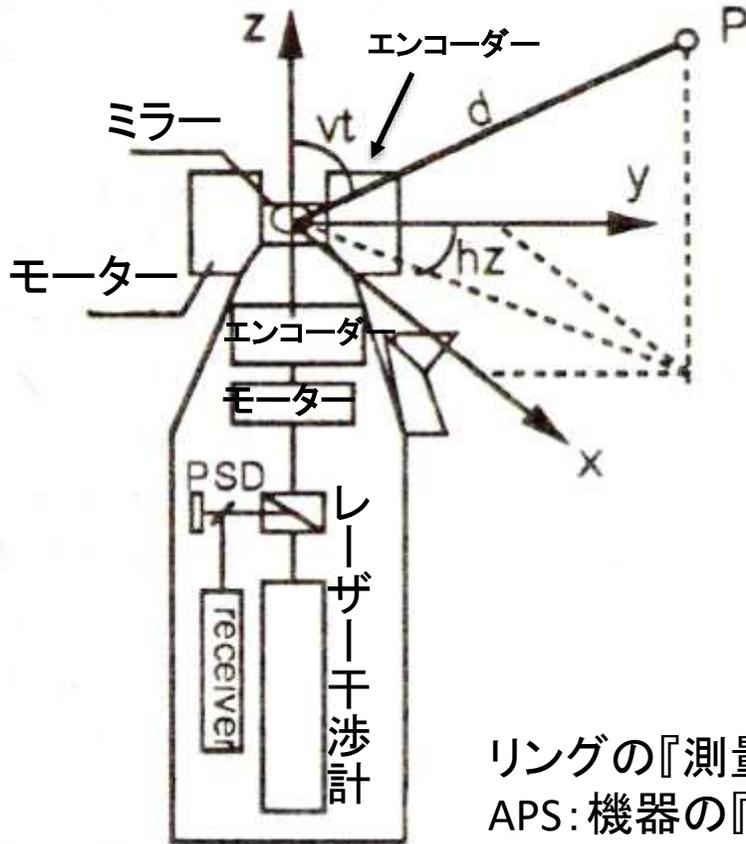
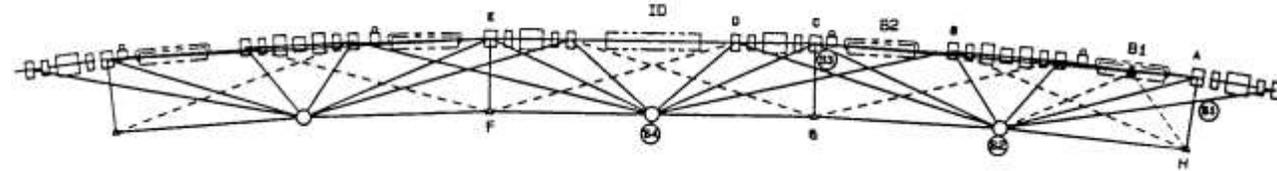
(検証2) 蓄積リング USMNによる解析との比較
Spatial Analyzer(SA) (New River Kinematics社)



3) レーザートラッカ、リング測量網、相対的な誤差楕円

SPring8建設の頃 レーザートラッカーが登場
 架台間を設置する基準点の測量に使用可能か
 シミュレーションの結果 可能

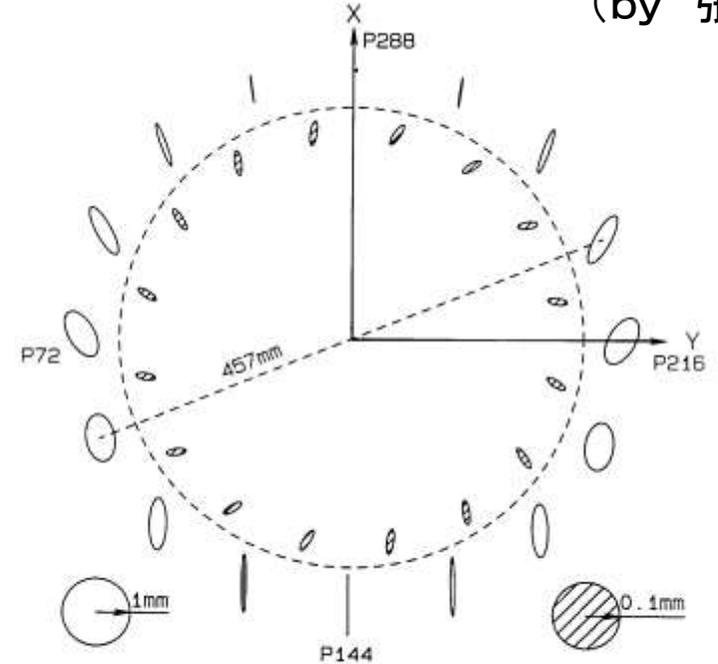
測量点: A, B, C各架台の両端、内側壁2か所/セル
 トラッカーの場所: 2か所/セル



初期のレーザートラッカー
 SMART310

測定距離 15m
 角度分解能 $\pm 0.7''$
 距離分解能 $\pm 0.16\mu\text{m}$
 繰り返し精度 5ppm
 座標精度 $\pm 20 - \pm 50\mu\text{m}$

リングの『測量』に使ったのはSPring8が初めて
 APS: 機器の『アライメント』にトラッカーを使用



(by 張)

<https://www.slac.stanford.edu/econf/C951114/papers/019.PDF>

○ absolute error ellipse of magnet position
 ● relative error ellipse of adjacent girder

4) 測量器

ME5000 距離測定原理

レーザー HeNe
波長632.8nm

距離精度 0.2mm+0.2ppm × (距離)

直線偏光を素子で高速～500MHzで回転させその周波数を掃引する。ターゲットで反射してきた光と重ね合わせられる。

距離がモジュレーションの波長の整数倍になった時、重ね合わせの光は極小になる。この時の周波数を記録し、さらに周波数をずらし、整数個の時の周波数を求める。これら一群の周波数から距離を計算する。

KERN SWISS ME 5000

Mode of Operation of the ME 5000

The Light Source
The high resolution of the measuring system (< 0.1mm) is made possible by a HeNe laser. The HeNe laser emits a linearly polarized light wave, oscillating in a single plane and having an exactly defined and constant wavelength of $\lambda = 632.8 \text{ nm}$. The constant wavelength allows the velocity of propagation of the light in a normal atmosphere to be calculated as a reference.

Modulation
The information required for measurement is superimposed on the laser beam in a special way externally, by Fizeau's principle (modulation): the light passes through an electro-optical crystal, where the linearly polarized light propagates with different velocities depending on the position in relation to the optical axis (different refractive indices). The refractive indices in the crystal are modified by applying an alternating voltage, which causes a systematic change in the polarization (elliptical polarization). This modulation occurs about 500 million times a second (modulation frequency 500 MHz). During each one of the 500 million cycles the light advances about 0.6 m (modulation wavelength).

A. Generating the Elliptically Polarized Light Wave in the Electro-optical Crystal
Under the effect of a voltage applied to the electrodes, the velocity of propagation of the horizontally and vertically polarized waves is affected differently. The originally linearly polarized light wave, incident under a 45° angle to the crystal axis, becomes a linear, elliptical or circular light wave, depending on the voltage.

B. Polarization Modulation of the Emerging Laser Beam
By applying an alternating voltage to the crystal, the polarization of the propagating laser beam is changed. A periodically structured light wave, whose period length can be varied by changing the frequency of the AC voltage, is created.

C. Demodulation of the Returning Laser Light
The elliptically polarized light wave returning from the reflector, when demodulated in the crystal, is either:
• reset to the original, linear polarization (same phase position of the emitted and received light); no light reaches the photodiode through the beam splitter (zero position case B),
• or it is elliptically polarized again (different phase position of the emitted and received light); light enters the photodiode (incident light).

Demodulation and Receiver
After the measuring beam has been reflected on the reflector, the modulated light passes through the crystal again, in the opposite direction. A second modulation (demodulation) occurs, which is superimposed on the modulated light. Only when the segment traversed by the light is an integer multiple of half the modulation wavelength, do the modulation phases of the emitted and reflected light coincide exactly, resulting in full demodulation. In this case a minimum light is measured on the receiving diode.

Setting the Operating Wavelength
The distance is obtained by varying the modulation wavelength. The modulation frequency and thus the modulation wavelength can be varied with the help of a synthesizer until half the modulation wavelength corresponds to an integer fraction of the distance traveled by the light between the instrument and the reflector. The microprocessor in the ME 5000 controls the measuring process automatically.

Obtaining the Measured Value
To calculate the distance, several different frequencies, for which the condition of integer number of the modulation half wavelengths is met, are set and precisely determined. The distance is calculated in the ME 5000 with the help of the following formula:

$$D = \text{Rnd} [(k \cdot L / (L - L_1)) \cdot c / (2 \cdot f_1)]$$

k = number of "skipped" zero positions (for adjacent zero positions $k = 1$)
 Rnd = Rounded to integer
 c = velocity of light
 f_1 = frequency of the first zero position
 f_k = frequency of the kth zero position

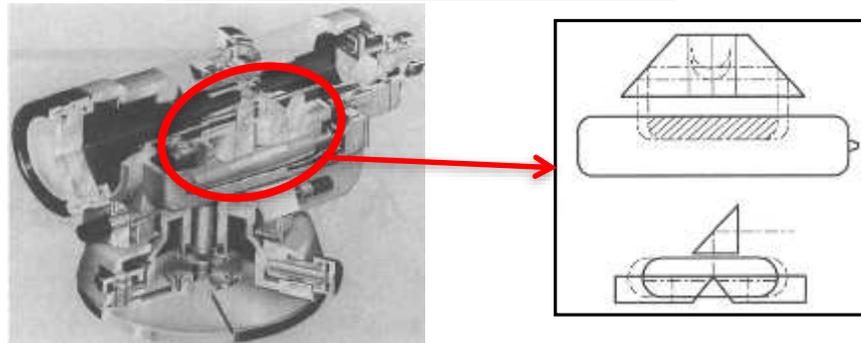
The displayed distance is obtained by taking into account the addition constants. The accuracy is increased and the results are checked through the agreement of measurements effected at different frequencies. The distance obtained depends on the meteorological reference data: $t = 15^\circ\text{C}$, $p = 1013.25 \text{ hPa}$ and 0% humidity.

Kern ME5000 パンフレットより

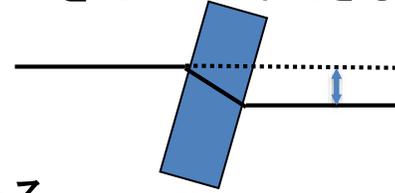
レベル

ティルティングレベル N3

手で傾きを合わせる



平行平板の傾きで視線を10mm上下できる



1km往復標準偏差: 0.2mm

最短合焦点距離 28cm

(前面カバーガラスからの距離)

Accuracy of Measurement
= 0.5" + 0.4% of measured inclination

最前面のガラス板は楔形をしており、校正時に回転させ視準線の傾きを水平に近づけ固定する。

オートレベル

トプコンAT-M3、Nikon AS-2、Leica NA2などメーカーにより異なった機種がある。いずれもマイクロメーターを外付けでき、視線を上下に(Nikon,Topconは90°回せば水平に)1cmずらすことができる。0.1mmピッチで目盛があるので視準線の高さを読み取ることができる。



Topcon AT-M3

マイクロメーター



Nikon AS-2

マイクロメーターを水平に取り付けた



最短合焦距離0cmと近くが測定できる。(AS-2では90cm、NA2では1.6m)

デジタルレベル

マイクロメーターがないのでクイックセットのように上下する三脚やステージに載せて使えば目視ターゲットがなくてもレベル基準の上にブロンソンのバー+デジタルの標尺を載せ、レベルの値を考慮して1400の高さにシールを貼ることができる。

標尺までのおよその距離も求まる

標尺

Zeiss DiNi 12

ニコントリブル DiNi



インバール製

DiNi 0.3 可視(ccdではない)の範囲
2m (4cm), 5m(11cm), 10m(21cm),15m(30cm),
20m(41cm) (実測値)

1km往復標準偏差:0.3mm

仕様では必要視準範囲 0.3mとなっているが実質もう少し小さくても可能だと思う

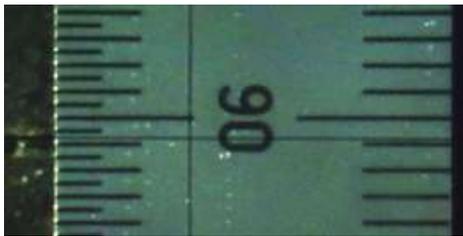
鉛直器 NL

実験ホール側の基準点設置に使用

現在 SPring8内 ~5台?



1m程下の金尺と
十字のライン



精度1mmなら鉛直器で
見ながら直接アルミシ
ールを貼ることも可能

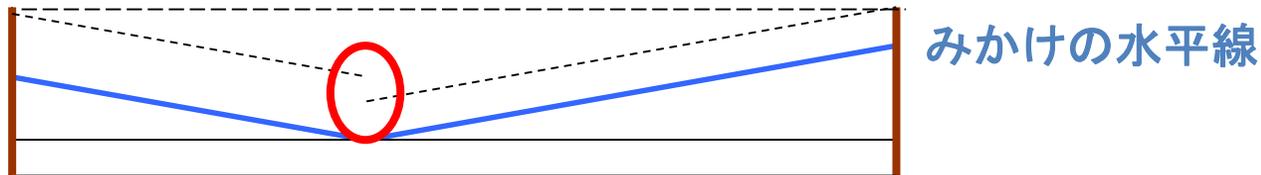
トラックのターゲ
ットや可視用1.5イ
ンチ球を載せる



5) 測量器 校正 測量器の使用前の校正は欠かせない

レベルの場合

- 視準線ができるだけ水平になるよう校正しておく。
たまたま、ひどくずれたままで使用しているケースがある。
- レベルの測量器は両測量点から等距離のところを設置する
測量器の水準器を正確に合わせたとしても完全な水平線は得られない。必ず傾いている。それでも等距離ならばレベル差は正確に測定できる。



同じ高さのものを等距離でないところから測量した場合、高さに差が出る

(注) デジタルレベル: 常に校正の値 (傾斜の値) と距離で補正している。

ティルティングレベル、オートレベルでは等距離の測定に時間がかかるとか等距離のところにおけない場合、要注意

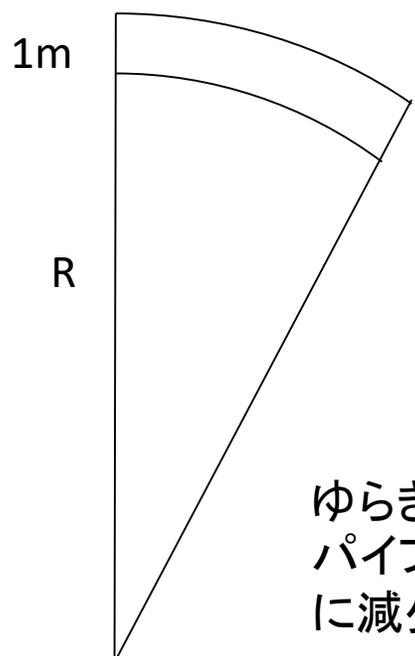
6) 温度勾配による光の屈折

可視光あたりの屈折率の温度依存 1ppm/deg なので

仮定 1deg/1mの温度勾配 なら図のように R=1000km の円弧とR+1mの円弧と到達時刻が同じとなる。

曲率半径 R=1000km/1 m当たりの温度勾配(deg)

s=20mの時 0.5°C/mなら ずれ $\Delta h=0.5 \times (20\text{m})^2/2000\text{km}=100\mu\text{m}$



トンネルのような閉じられた空間では上の方の温度が高くなったままで固定されるため、0.5°C/1mという温度勾配は可能性のある値かと思う。

レベルの測量機が中間に置かれていればまだ少しは減るが入り口付近とか場所により温度はかなり変化している。

ゆらぎを防ぐために段ボールのパイプを使ったりすると熱がにげにくくなる。パイプの材質を同じ太さ $\phi 20\text{cm}$ 長さ30mの銅に変えると曲がりか1/3~1/4に減少したが残った。

誤差楕円の計算方法

A=観測方程式の行列
 P=重みの行列
 L=設定値から求まる値
 と観測値の差の行列
 X=解

最小二乗法の正規方程式

$$A^T P A X + A^T P L = 0$$

$$X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L)$$

相対的な誤差楕円

$$\sigma_{\Delta N}^2 = \sigma_{N1}^2 - 2\sigma_{N1N2} + \sigma_{N2}^2$$

$$\sigma_{\Delta E}^2 = \sigma_{E1}^2 - 2\sigma_{E1E2} + \sigma_{E2}^2$$

$$\sigma_{\Delta N \Delta E} = \sigma_{N1E1} - \sigma_{N1E2} - \sigma_{E1N2} + \sigma_{N2E2}$$

$(A^T P A)^{-1}$. 分散、共分散行列

	1	2	3	4
1	$\sigma_{N1}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E1}^2$			
2	$\sigma_{N1N2} \quad \sigma_{E1N2}$ $\sigma_{N1E2} \quad \sigma_{E1E2}$	$\sigma_{N2}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E2}^2$		
3	$\sigma_{N1N3} \quad \sigma_{E1N3}$ $\sigma_{N1E3} \quad \sigma_{E1E3}$	$\sigma_{N2N3} \quad \sigma_{E2N3}$ $\sigma_{N2E3} \quad \sigma_{E2E3}$	$\sigma_{N3}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E3}^2$	
	$\sigma_{N1N4} \quad \sigma_{E1N4}$ $\sigma_{N1E4} \quad \sigma_{E1E4}$	$\sigma_{N2N4} \quad \sigma_{E2N4}$ $\sigma_{N2E4} \quad \sigma_{E2E4}$	$\sigma_{N3N4} \quad \sigma_{E3N4}$ $\sigma_{N3E4} \quad \sigma_{E3E4}$	$\sigma_{N4}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E4}^2$

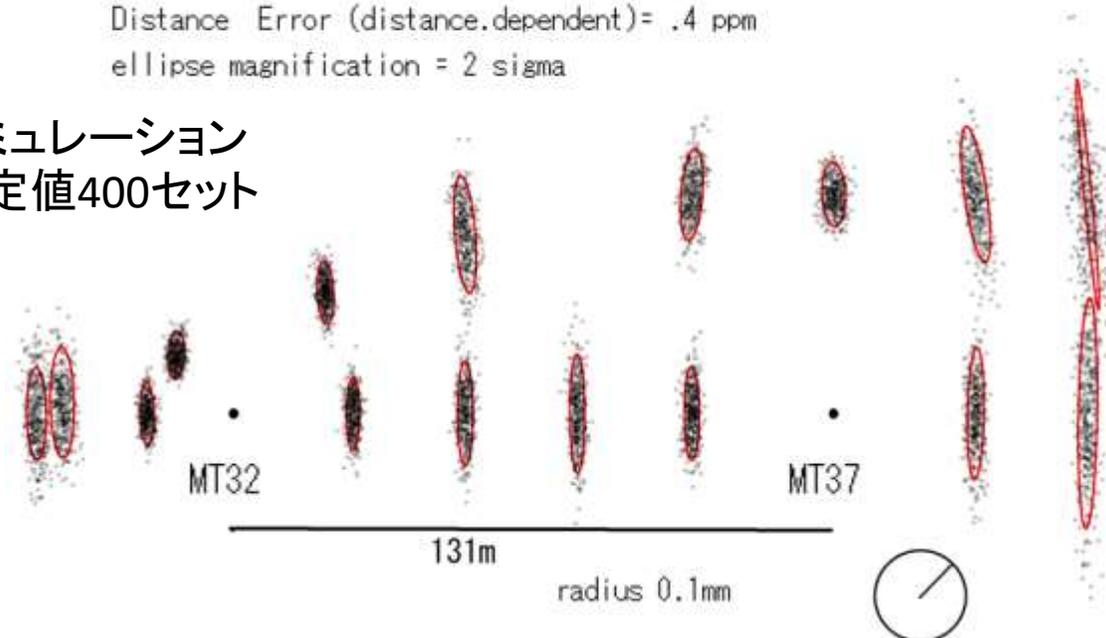
7) シミュレーションの用途

プログラムのチェックもかねて 2σ の誤差楕円の中にシミュレーションの値の86%が入ることの確認

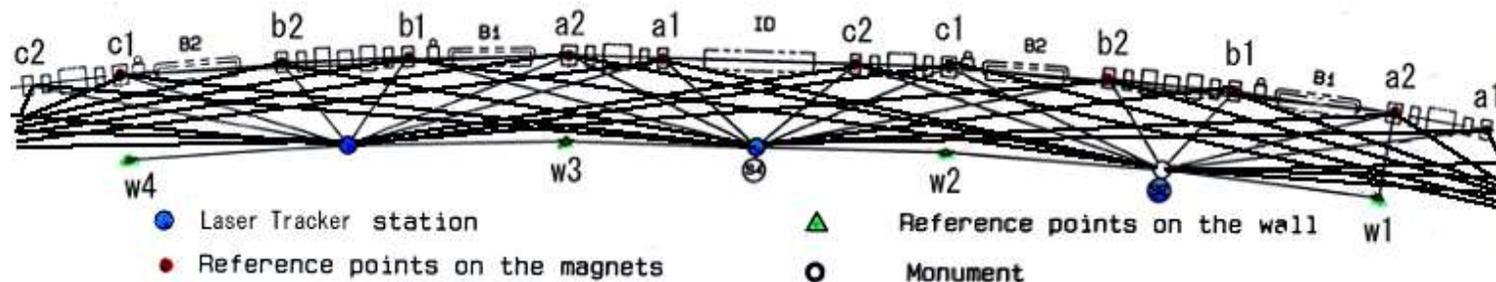
SACLA光源棟モニユメント測量の場合

15/08/01 10:11:29 Survey Simulation
Angle Error = .5 sec
Distance Error (Const.)= .01 mm
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm
ellipse magnification = 2 sigma

シミュレーション
測定値400セット



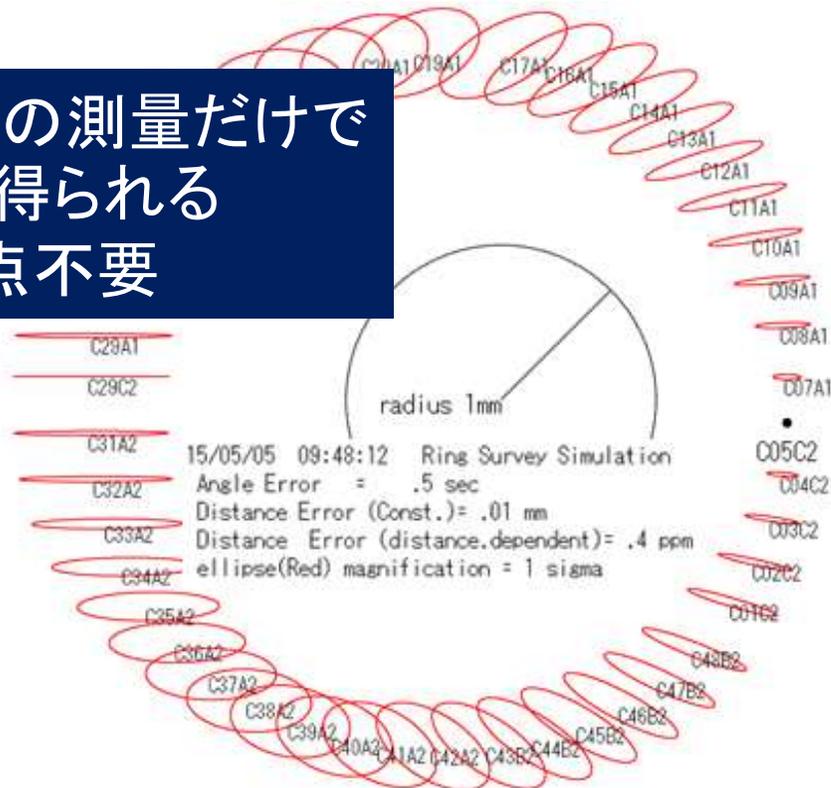
シミュレーションの用途 その1 測量網の最適化



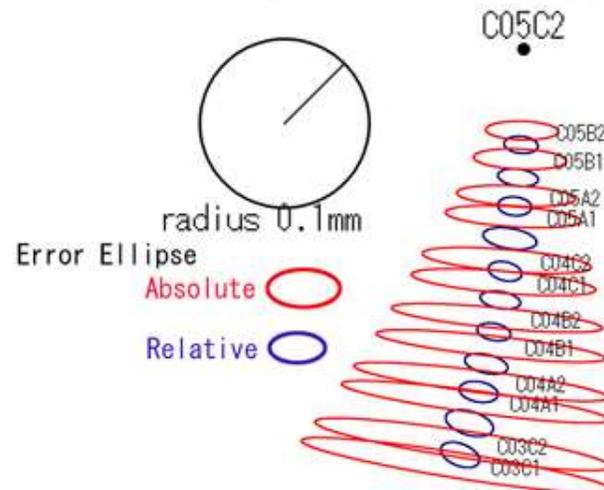
絶対的な誤差楕円

絶対的と相対的な誤差楕円

収納部の中の測量だけで
この精度が得られる
=外周基準点不要

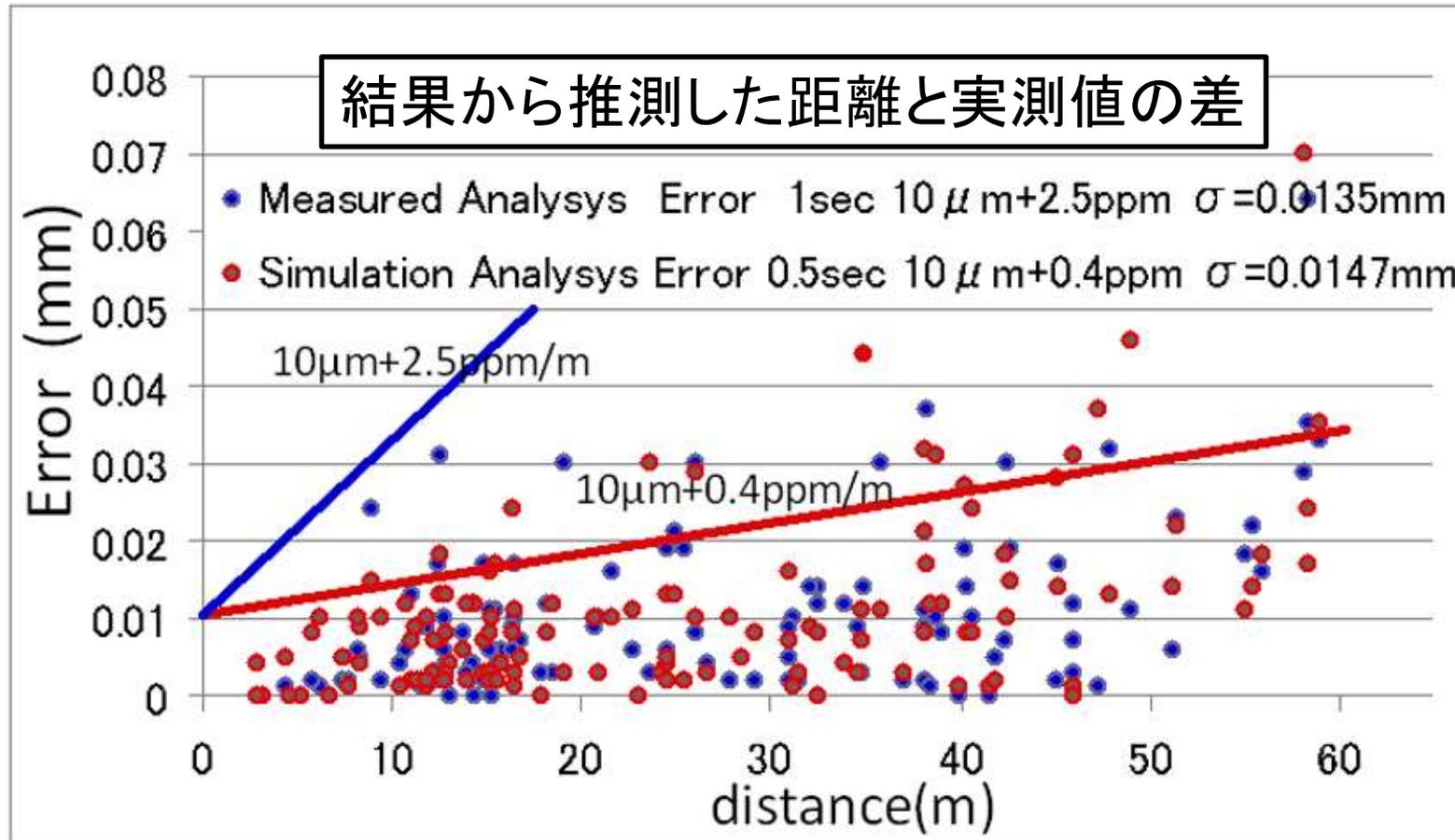


15/07/28 00:12:13 Ring Survey Simulation
Angle Error = .5 sec
Distance Error (Const.) = .01 mm
Distance Error (distance.dependent) = .4 ppm
ellipse(Red) magnification = 1 sigma



シミュレーションの用途 その2

測量の実力値の推測



8) Excel VBAへの書換え

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Survey							
2	Analysys Parameters							
3		Angle- Distance Weight						
4		Angle Error (1 sigma		1.000	sec			
5		Distance Error (Consta		0.01	mm			
6		Distance Error (Distanc		2.5	ppm			
8		Coordinate	right hand (ex.) +X=West direction +Y=North direction					
9			fix one coordinate X or Y Jfix=1 (X) =2(Y) =0(none)					
10			Jfix=1 or 2 →half known point=first Unknown point					
11		JFIX		2				
13		Iteration		3	times			
15			X(m)	Y (m)				
16	Known Poi	Mt32	0.00000	0.00000				
17		9999	0	0				
18	Unknown F	Mt37	130.99995	0.00000				
19		Mt14	-43.11770	0.00000				
20		Mt31	-19.00000	0.00000				
21		Mt33	26.00000	0.00000				
22		Mt34	50.50000	0.00000				
24		9999	0	0				
25	Mrasured	Mt14	T3_1	MtSCSScb0	192.1823			
26	Angle	Mt14	T3_1	BT21_1	355.7378			
27		Mt14	T3_1	BT21_2	204.1411			
29		Mt39	T3_10	W10N	2.0906			
30		9999	0	0				
31	Measured	T3_1	MtSCSSgur	11.084221				
32	Distance	T3_1	MtSCSSbc	22.632399				
34		Mt37	Mt39	55.500037				
35		9999	0.000	0.000				
37	Analyzing	Iteration=	1	Time=	16:01:52	Making normal equation		
38		Iteration=	1	Time=	16:01:52	Solving equation		
39		Iteration=	2	Time=	16:01:52	Making normal equation		
40		Iteration=	2	Time=	16:01:53	Solving equation		

Excel シートに解析のエラーを入力

角度 (sec)

距離 (固定部 (mm))

(距離に依存する部分 ppm)

半固定する X軸、Y軸、なし

繰り返し回数

既知点 XY座標

未知点 XY座標

角度 データ シミュレーションの場合
データなし

距離 データ

解析 繰り返し回数 時刻

https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2015/proceedings/PDF/THOM/THOM08.pdf

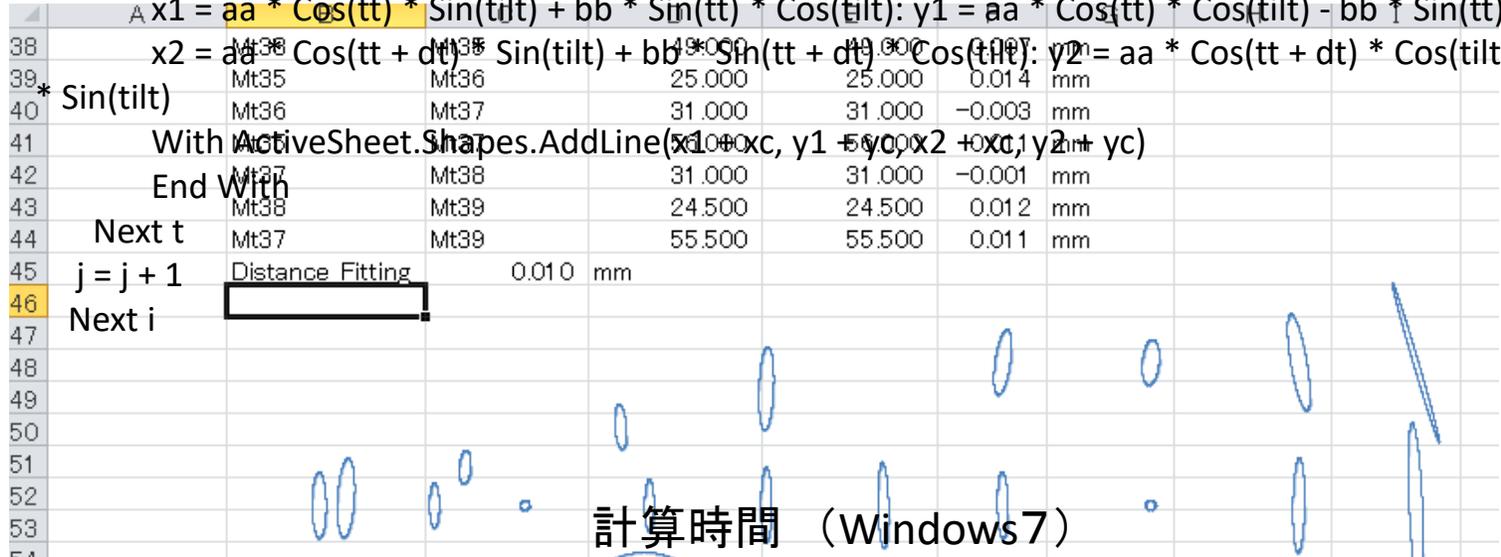
解析結果に続いて 誤差楕円の図の表示

```
With ActiveSheet.Shapes.AddLine(x1 + xc, y1 + yc, x2 + xc, y2 + yc)
End With
```

```
xc = XJ(i, maxiter) * xmulti + shiftx: yc = YJ(i, maxiter) * ymulti + shifty: aa = SMAX_abs(j) * multi: bb = SMIN_abs(j)
* multi: tilt = -ANGLE(j) / ra * degrad
tilt = Angle_abs(i) * ra
```

```
For t = 0 To 360 Step 0.2: tt = t * degrad
```

```
x1 = aa * Cos(tt) * Sin(tilt) + bb * Sin(tt) * Cos(tilt): y1 = aa * Cos(tt) * Cos(tilt) - bb * Sin(tt) * Sin(tilt)
x2 = aa * Cos(tt + dt) * Sin(tilt) + bb * Sin(tt + dt) * Cos(tilt): y2 = aa * Cos(tt + dt) * Cos(tilt) - bb * Sin(tt + dt)
* Sin(tilt)
With ActiveSheet.Shapes.AddLine(x1 + xc, y1 + yc, x2 + xc, y2 + yc)
End With
Next t
j = j + 1
Next i
```



場所	測量点	角度	距離	FBASIC	VBA
光源棟	50	111	133	<1秒	<1秒
蓄積リング	486	1300	1400	26分 (36分)	10分 (19分)

()Windows XP

9) 床の測量基準づくり

3段階屈用ドリル

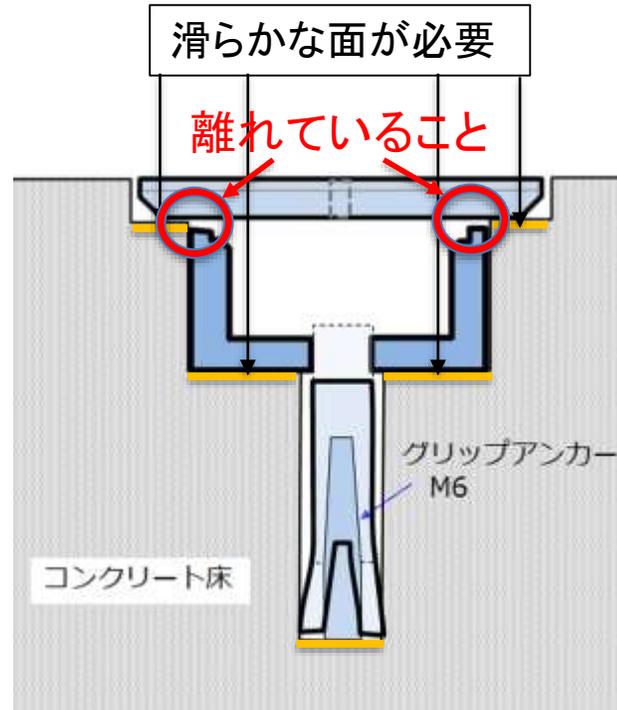


1段目 φ11 深さ45

2段目 φ37 深さ18

3段目 φ51 深さ5

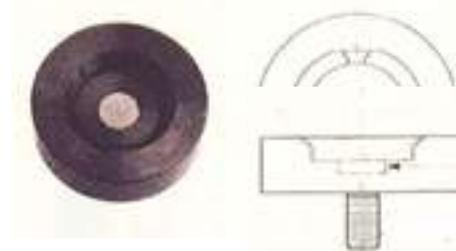
(株) ティ・ビーダイヤモンド



3か所で受けるターゲット台



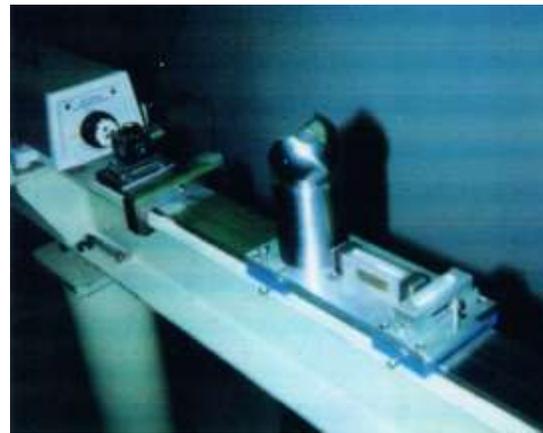
HUBBSのターゲット台



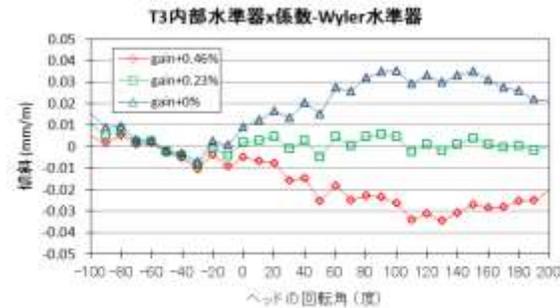
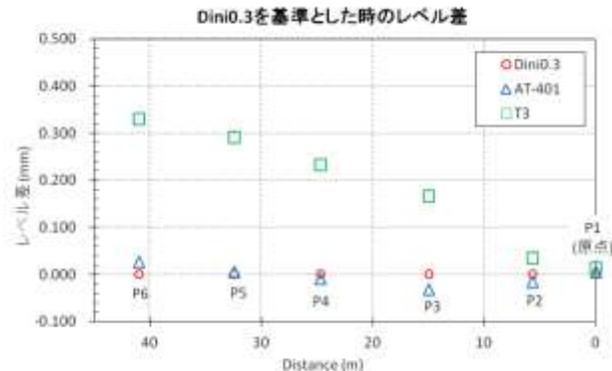
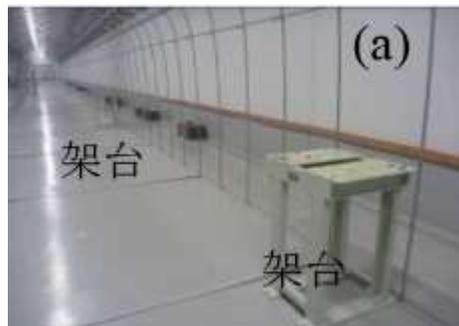
図・写真: 竹迫氏提供

10) トラッカーで発生した問題

1. 初めて購入したトラッカー SMART310 シリアルNo9 レーザー干渉計でチェックすると波長が間違っていたことが判明した



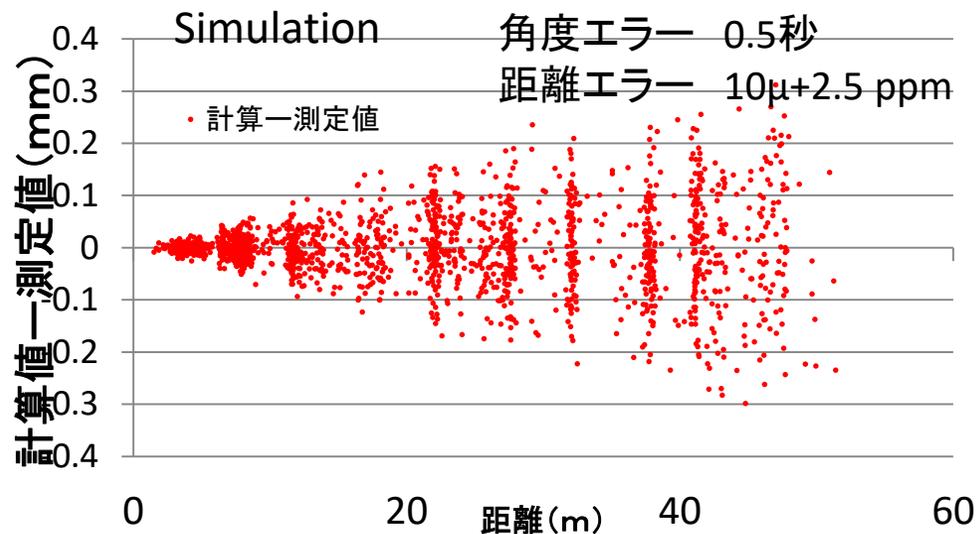
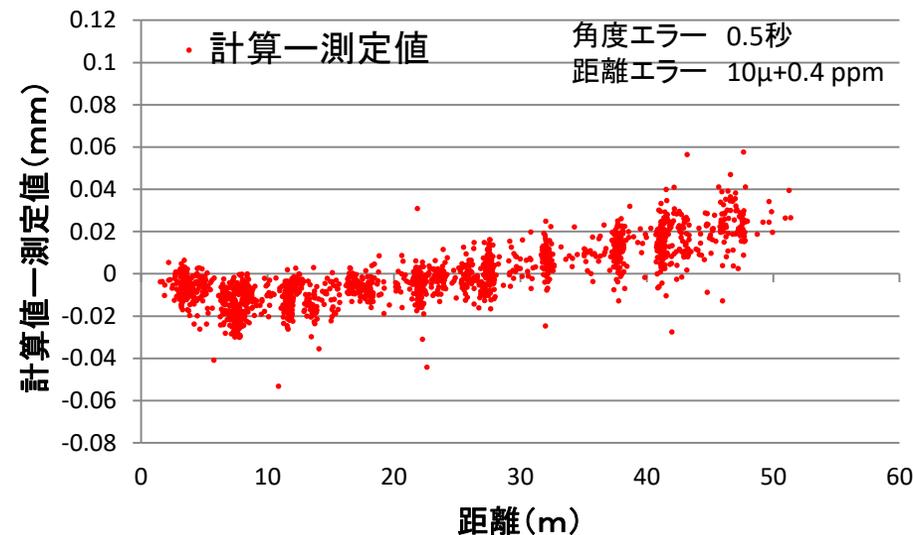
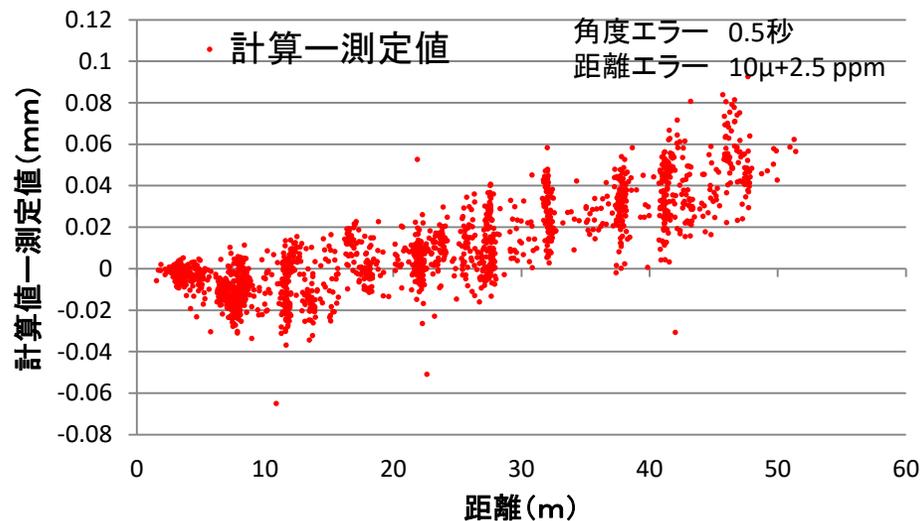
2. 傾いた状態で使うと高さがずれる



3. AT40Xで蓄積リングを測量した結果距離測定に異常

2018年8月AT40xで測量したデータを岡安氏から
いただき、水平面のみで網平均計算した。

実測値の
網平均計算



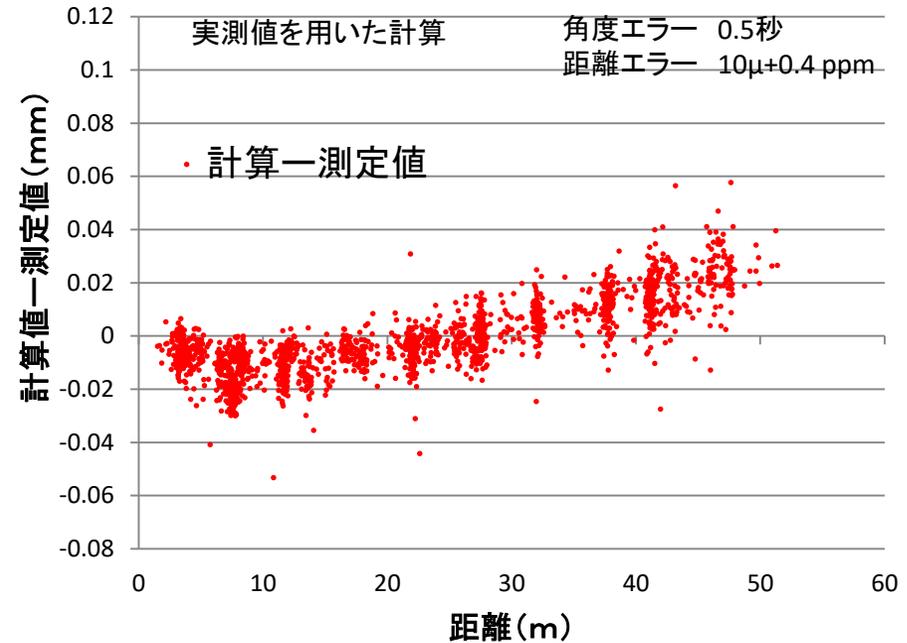
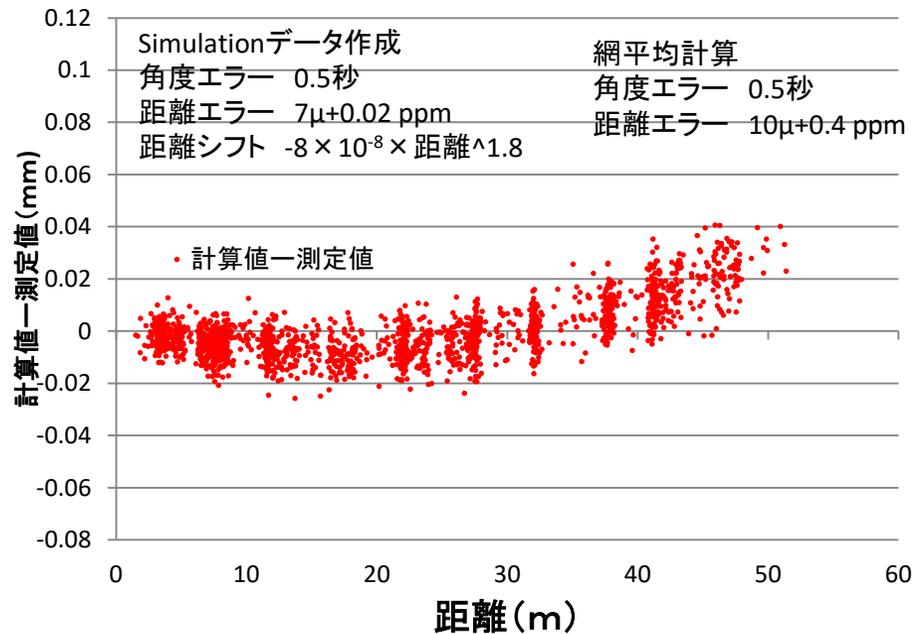
測定地点を同じにして測定値はシ
ミュレーションで与え、同様のエラ
ーで計算した。

シミュレーションの網平均計算

実測値の網平均計算

距離の計算値 $-8 \times 10^{-8} \times (\text{距離})^{1.8}$

網平均の条件 角度エラー 0.5秒
(両方同じ) 距離エラー $10\mu + 0.4 \text{ ppm}$



https://www.swisstek.com/images/wild_leica/Leica_Absolute_Tracker_AT401_white_paper.pdf

2-1 温度測定

測定器

収納部: DMMまたは開発品
(実験ホール: 日置データミニ)



DMM(ケースレー2701)使用の場合 イーサネットポートあり

スキャナー用ボード使用 1枚で4線式最大20点 1台で2枚まで挿入可

DMM(27万)+ボード(10.7万×2=21.4万) 48万/40=1.2万/点

DC電圧測定では6.5桁(22bit相当)

4線式のみ(3線式は使えない)

分解能0.001度程度

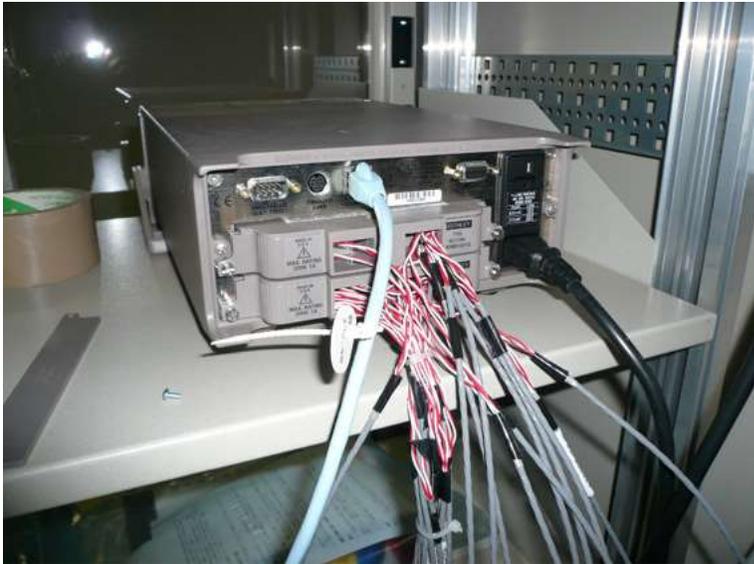
収集間隔 15秒~1分→データベース

ケーブル SSBT部(あまりノイズはないところ)で150m引いているが特には問題無し。

当時、AgilentにはEthernetケーブル仕様品がなかった

効用の例:ハンチング発見→冷却装置の故障修理

測定器 裏面



測定器は保守通路
のラックの中に設置



収納部天井からの
引き出し部

貼れるPt100

厚さ 0.2mm
カプトンフィルムの中
に白金の細線が巻か
れている。

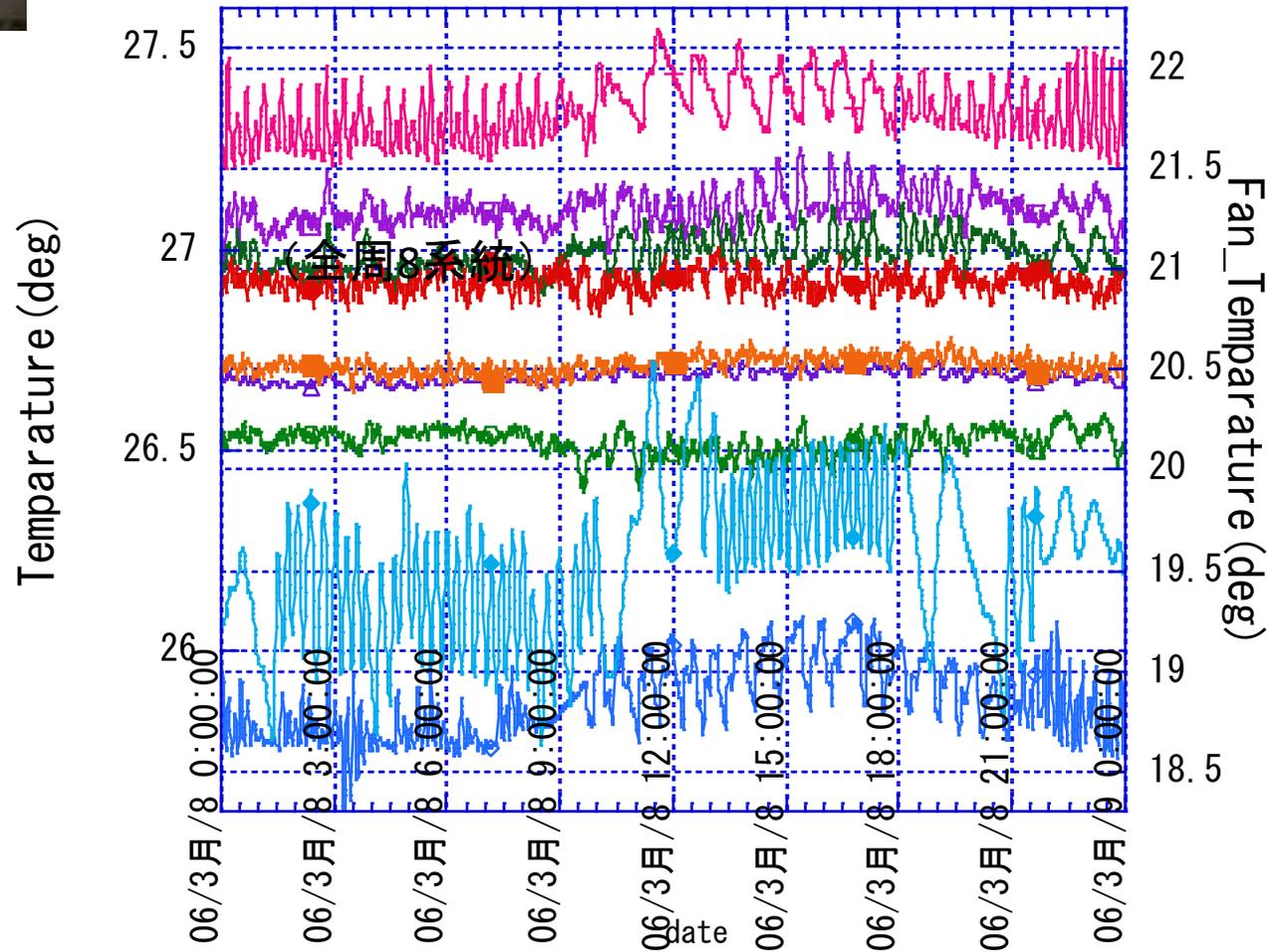
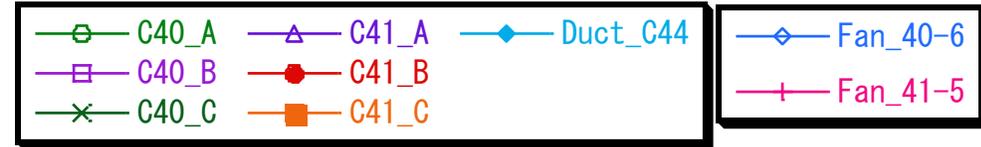


収納部温度センサー設置 (リング全体に168箇所)

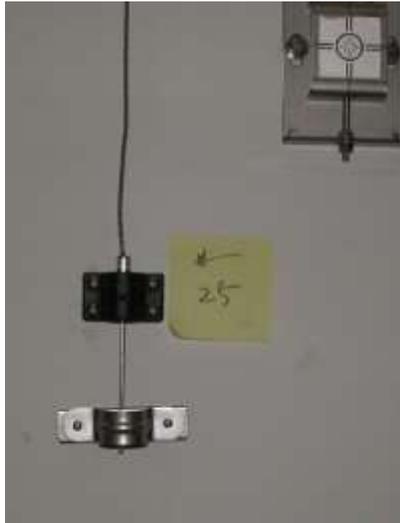
エアコン
2箇所/系統



Pt100 4線式 (デジタルは4線式でないと測れない)



壁(高さ1.5m)
3箇所/セル
=10m間隔
1個~7000円

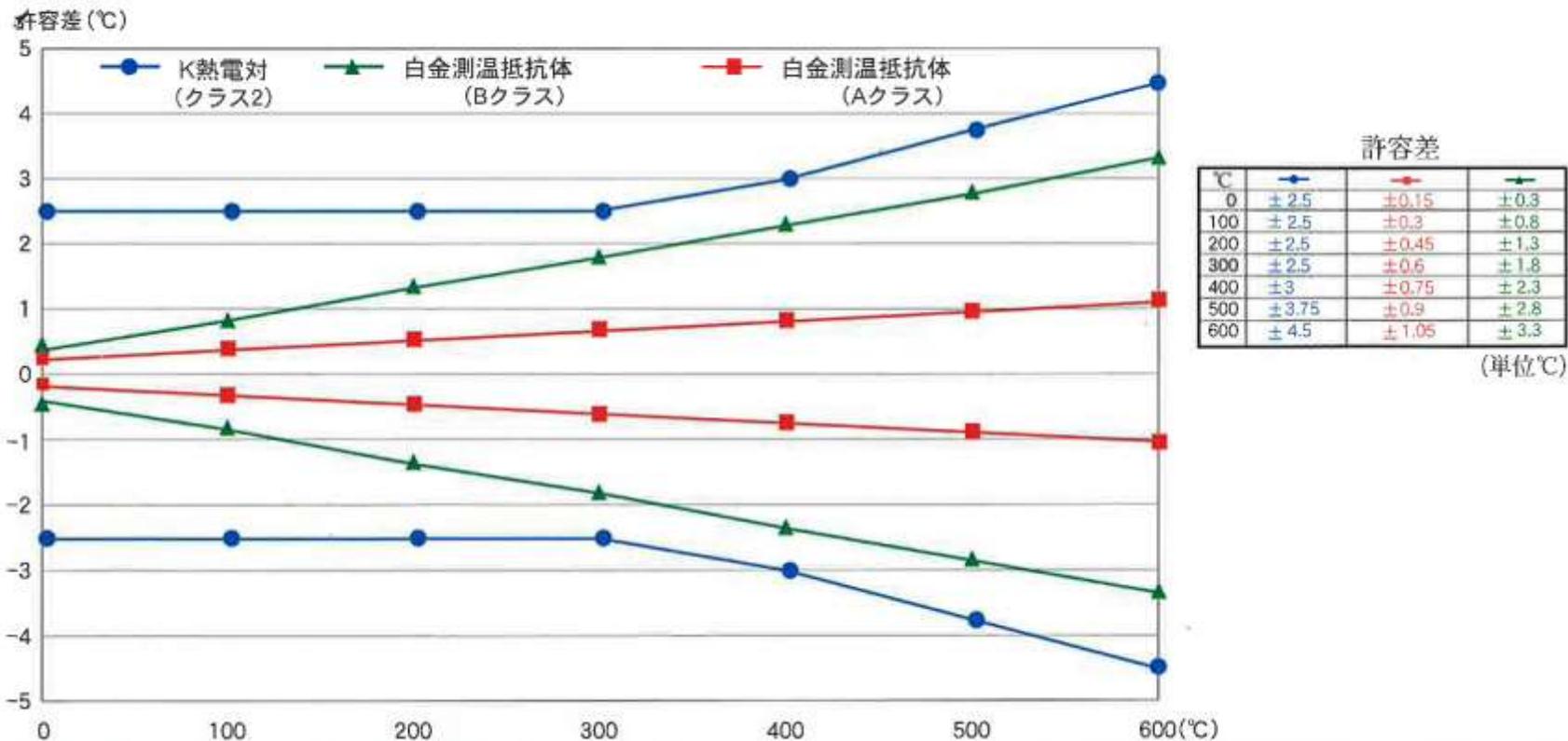


給気ダクト
1箇所/系統



熱電対か白金か

Pt100Ω 白金測温抵抗体 & 熱電対との精度(許容差)の比較



Pt100 4線を主にした理由

- 精度(抵抗値を測定するだけ→精度が出やすい)
- 4線測定→スキャナータイプのデジボルも安くなった。温度専用の測定器は高価
- (標準温度計用Pt100とその測定器Fluke Model 1502Aのみ)
- 0°C、100°Cの校正値から温度の絶対値校正が可能。

0.001Ω(0.0025deg相当)まで記載

- 長期間(~30年とか)の測定 地中、壁の中交換困難
- 磁石などへの貼り付けタイプ(厚さ0.2mmのシートタイプ)も可能
- 長距離150mとかでもシールドなしケーブルは安価(RSカタログより)

熱電対の場合、補償導線が必要で長くなると単純な銅線より高くなる

(注)工業的には3線が多いがデジボルは4線でないと測定できない

MS-K-2

抵抗値検査表

御客様名: 独立行政法人 理化学研究所 播磨

室温: 26 °C 湿度: 50 % クラス: A 級

No.	0°C	100°C	No.
1	99.994	138.510	26
2	100.004	138.565	27
3	100.015	138.585	28
...

松山裕:『実用 温度測定』,(財)省エネルギーセンター(1998).

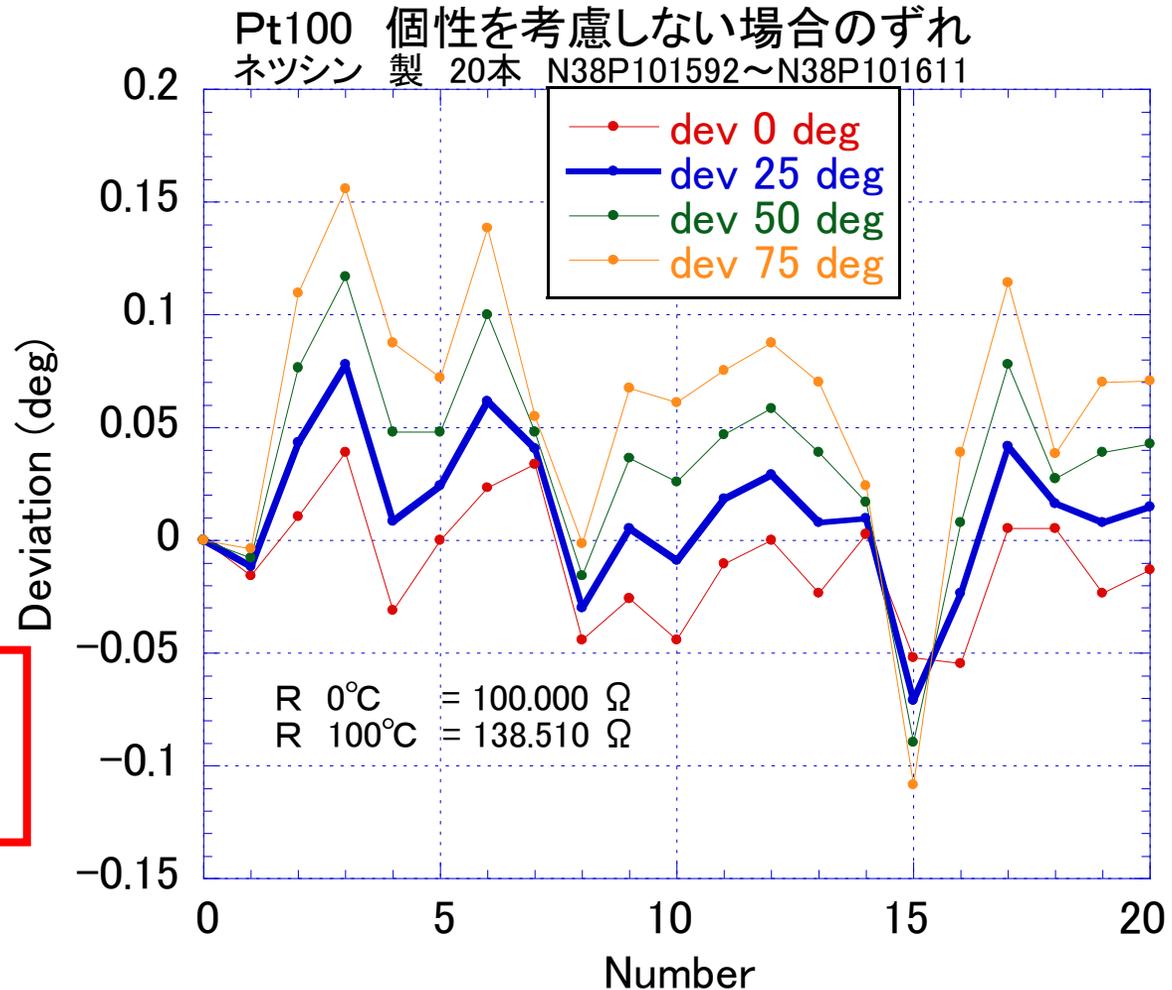
Pt100 センサーのばらつき

先のシートの抵抗値を使わずに
温度を計算した場合、測定器の
エラーを含めない場合の20本(
No1~20)のずれを示した。

25°C付近を測定した場合
±0.1°Cに入っていること
がわかる。

**実際には 絶対値はそこそこの精度で
よく、むしろ変化を正確に測りたい(重
要なのは安定なので!)場合が多い**

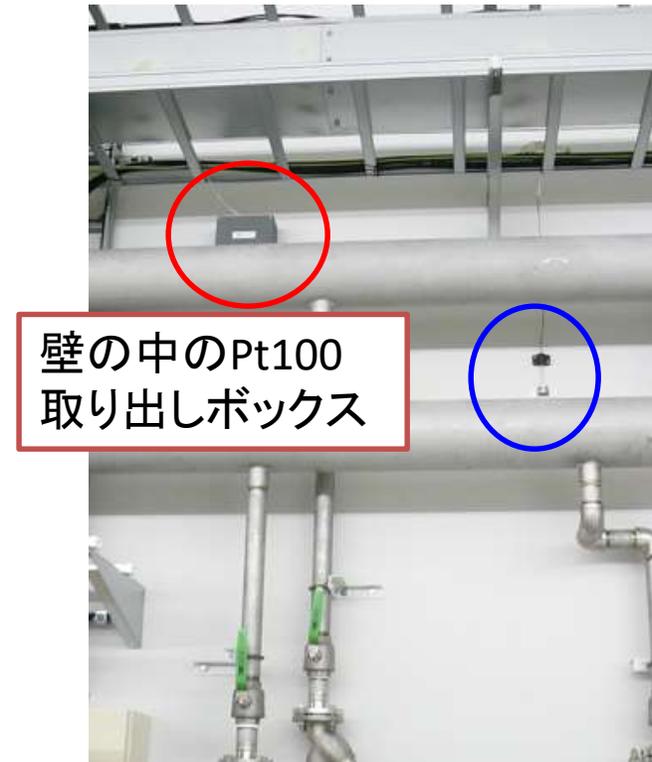
製品はJIS A級で購入



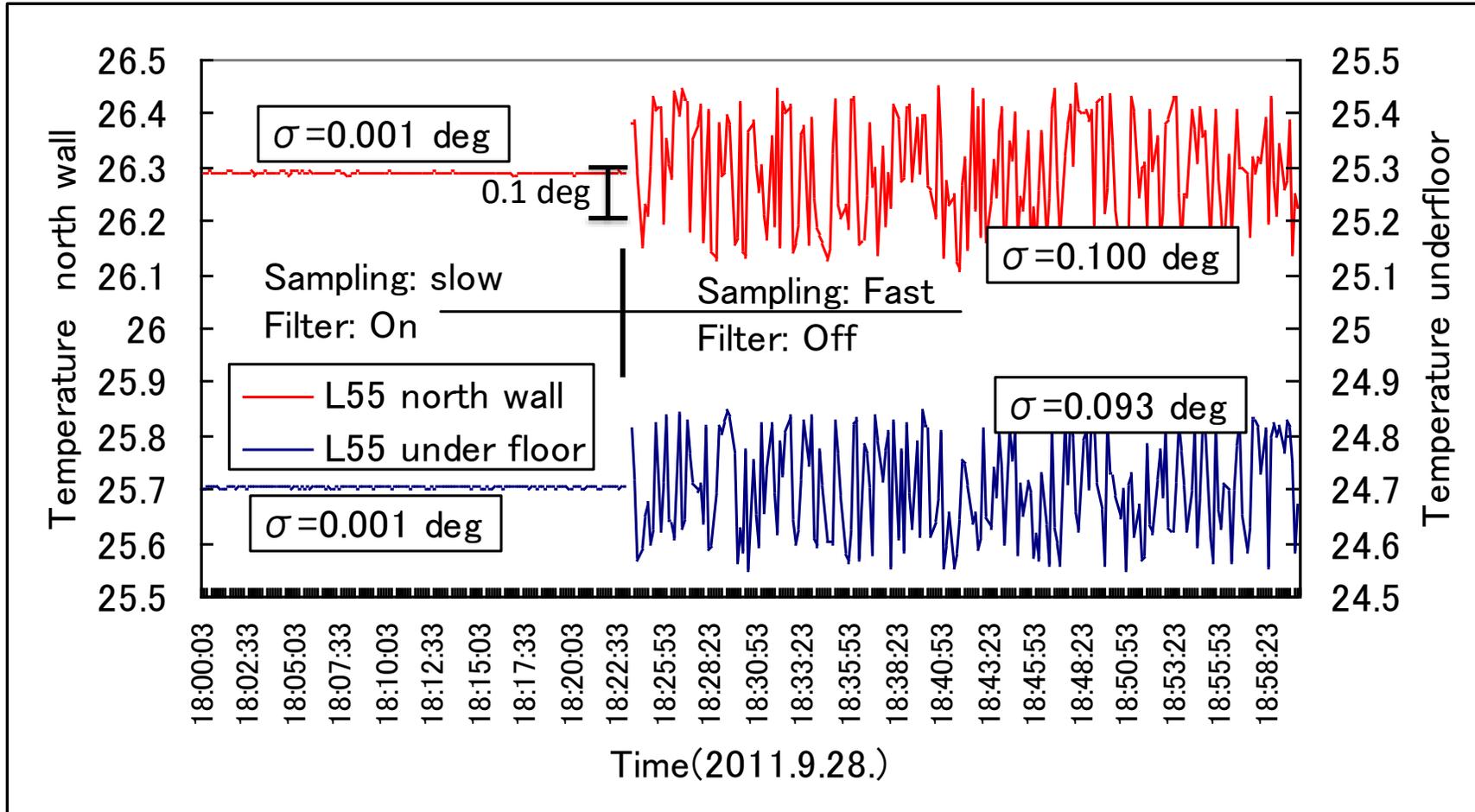
XFEL SACLAでの温度測定

- ・クライストロンギャラリーの室温 13箇所
(高さ ~3m、間隔~30m)
- ・ファイバーケース内温度 5箇所
- ・収納部北側壁内部 14箇所、
壁の下深さ床下1m 9箇所

施設のセンサー ギャラリー北側に5カ所ある



サンプル時間 & Filterの効果

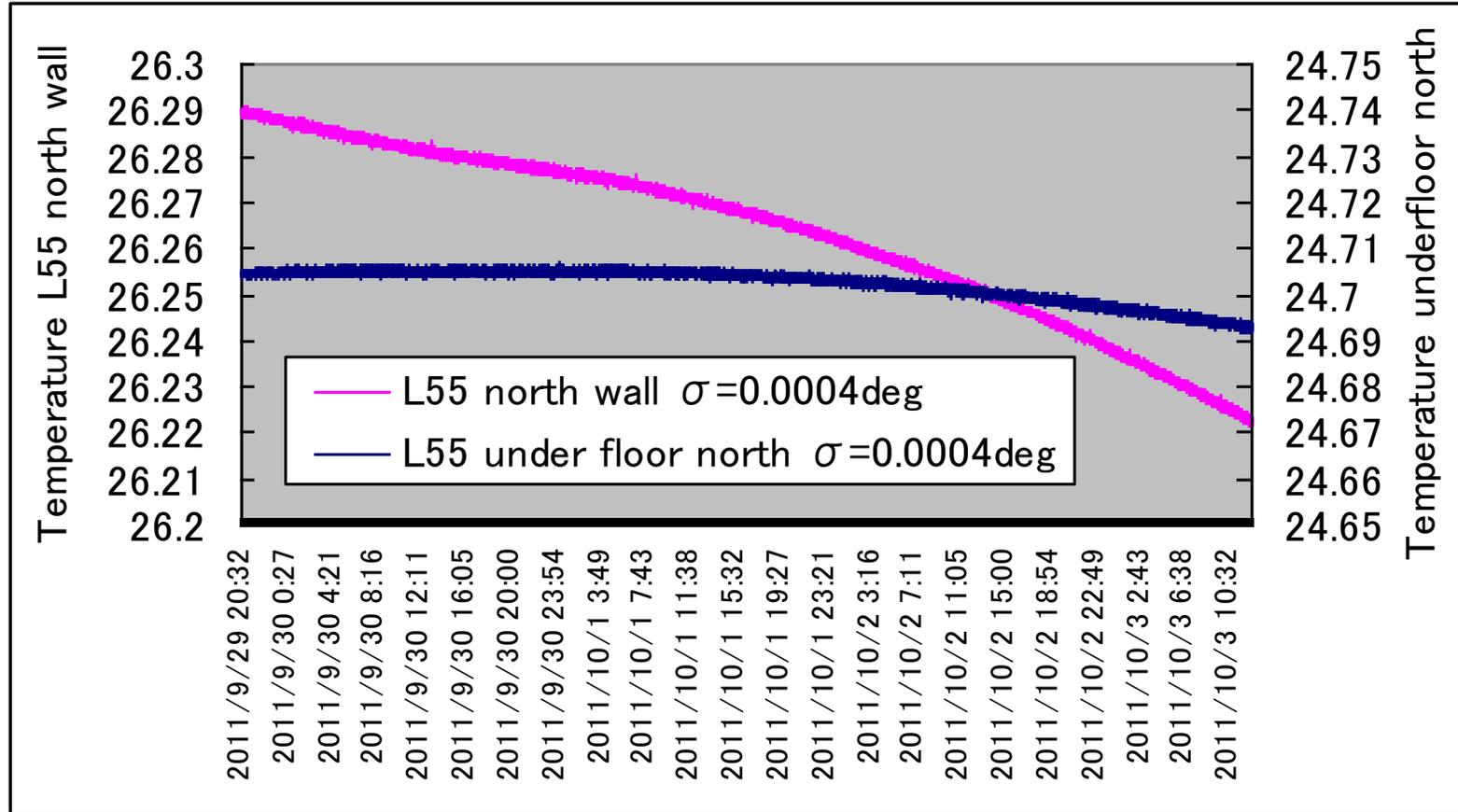


測定間隔: 10秒

3日半の測定結果

1点当たりの測定時間:4秒→ $\sigma=0.0004\text{deg}$

(ケースレー測定条件 slow Filter on)

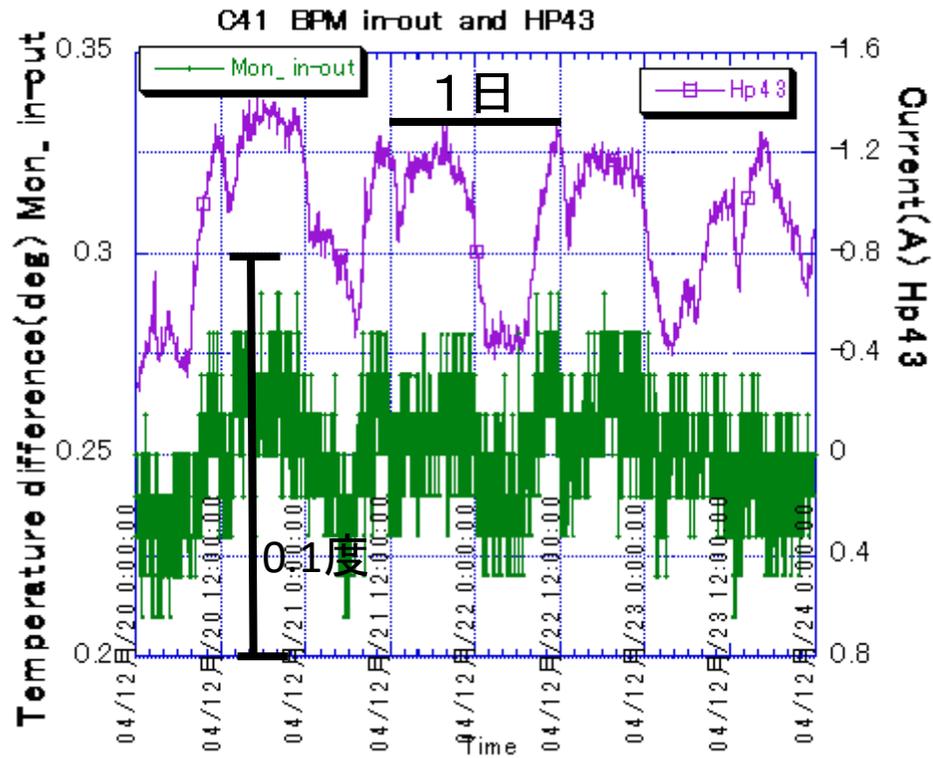


温度分解能のせいで見えにくい場合 蓄積リングでの例

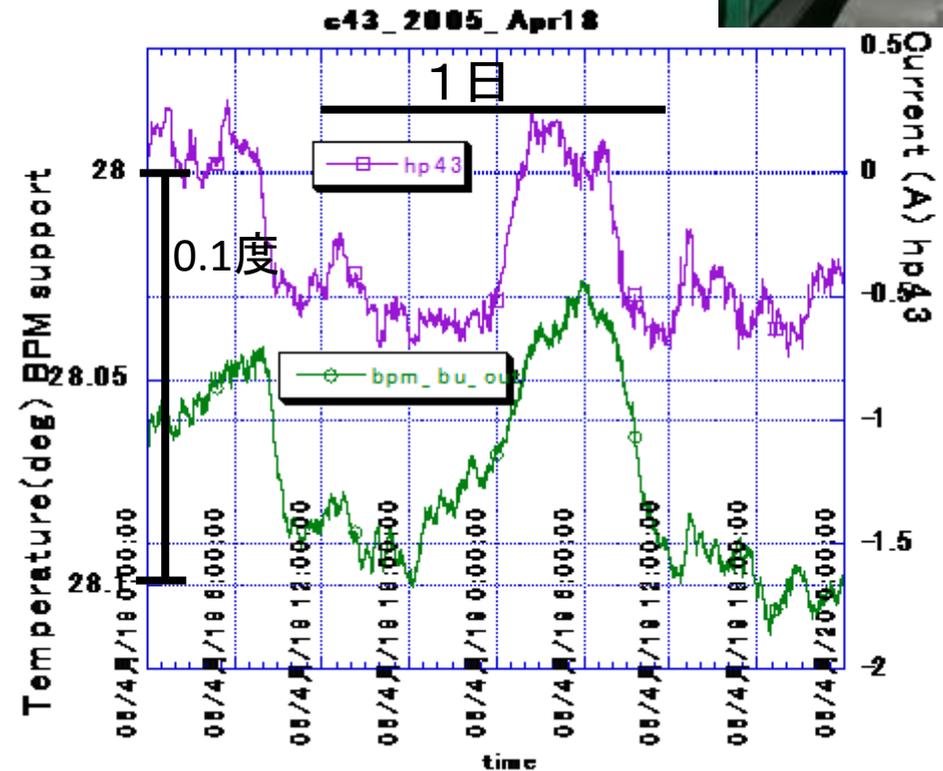
収納部での温度変化が軌道を変化させ、これが修正用ステアリングの電流値に反映している。

左図：BPMのリング内側と外側の温度差と電流値を比較したもの。温度分解能0.01度

右図：BPMの温度と電流値。温度分解能0.001度程度



測定器：データロガー(日置8421)



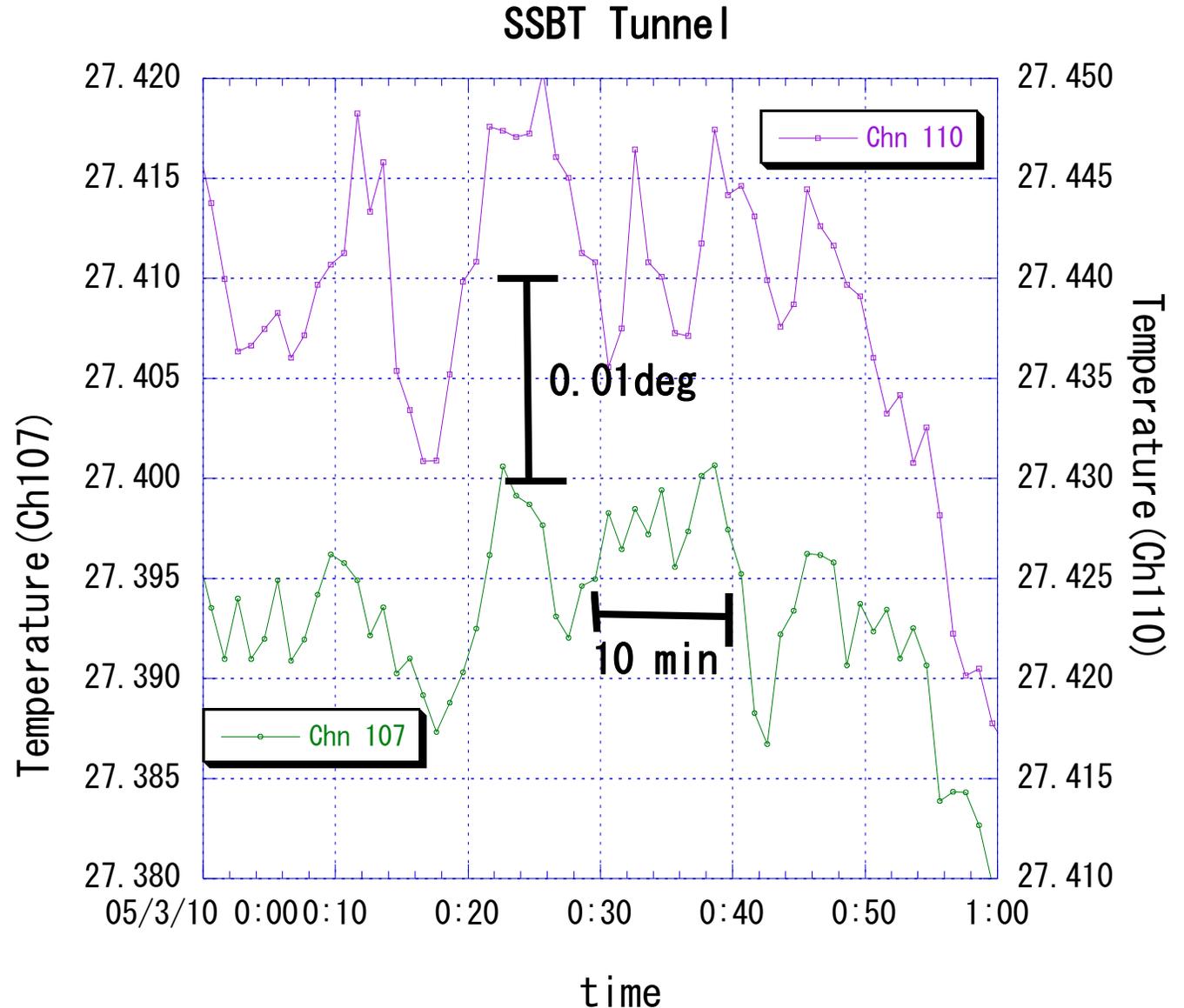
DMM(ケースレー2701)

長距離でも測定できている例

Pt100 4線式
導線直径0.18mm 7本
距離 ~100m

ここはノイズ環境がいいのでシールドなしの線でも十分測定できている

SSBT トンネル内温度 壁につけた2個(間隔30m)のセンサー



配線が難しい場合

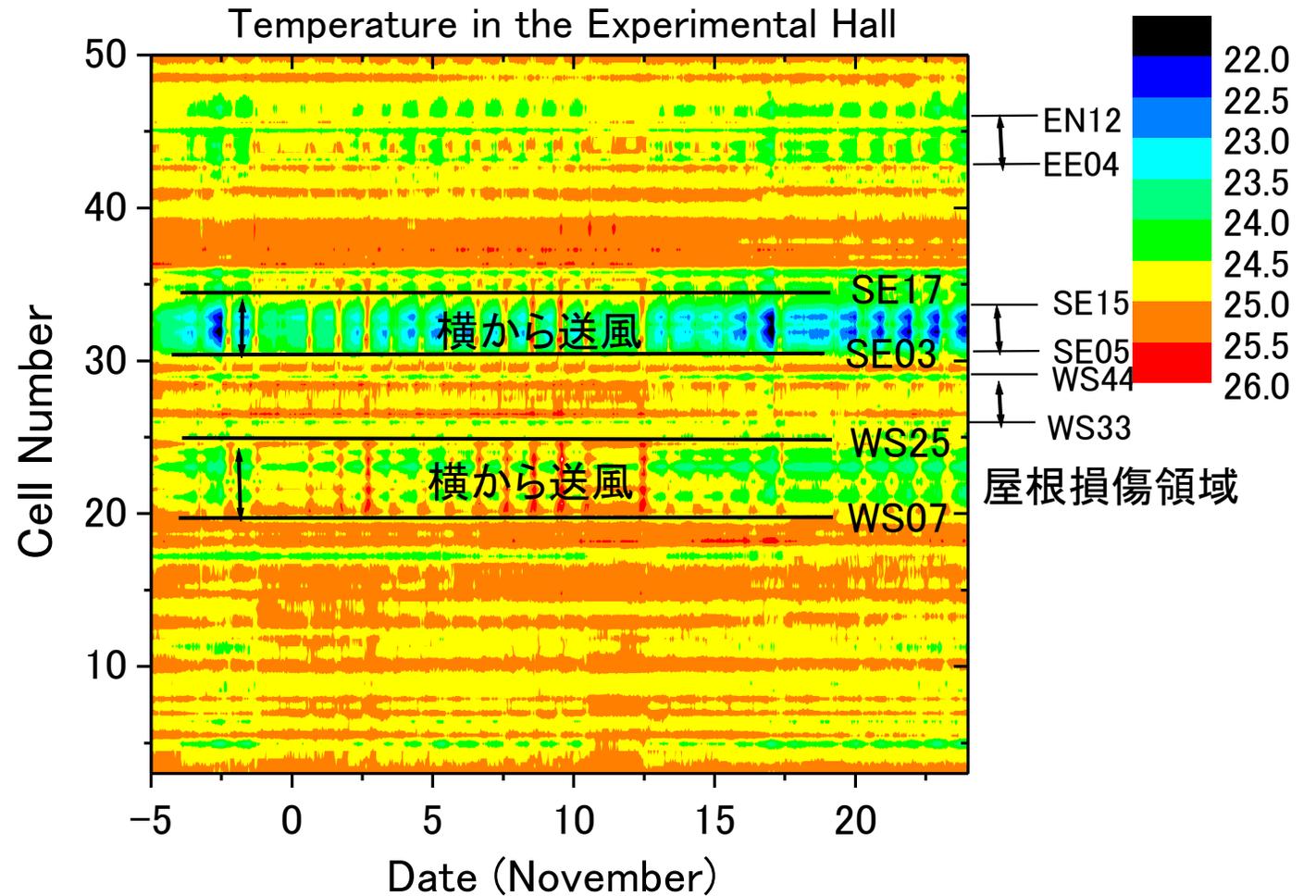
例)リングの実験ホール

センサー サーミスタ
壁15m毎



実験ホール温度測定

台風による損傷で屋根の断熱材が除かれた影響が出るかの調査
温度ロガー80個、温湿度ロガー20個を
実験ホールに置いて測定

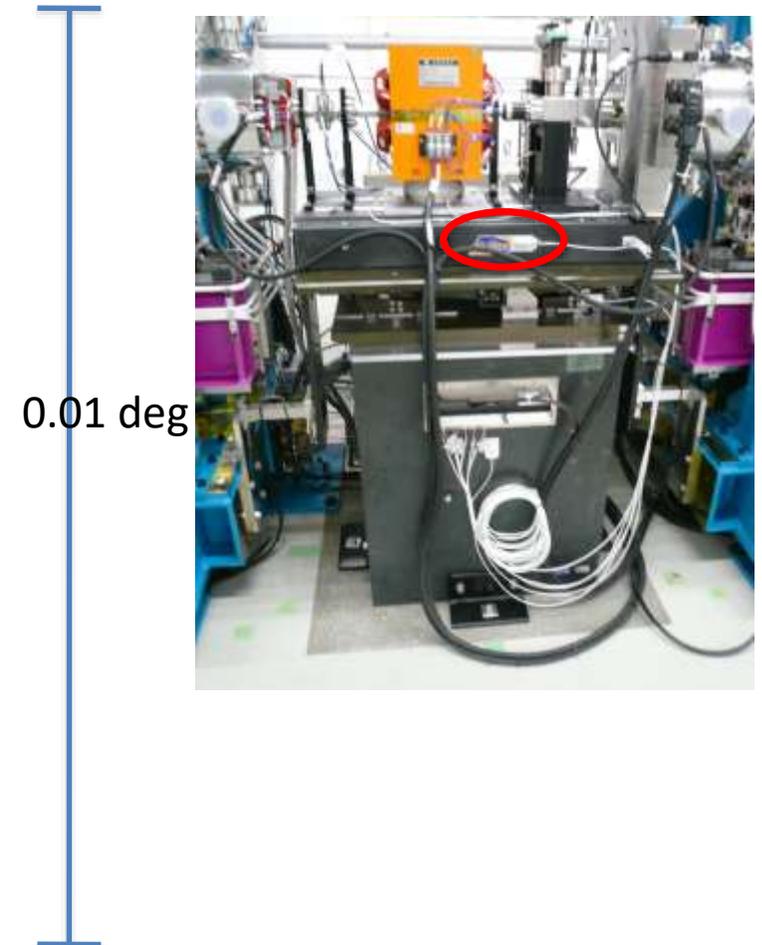
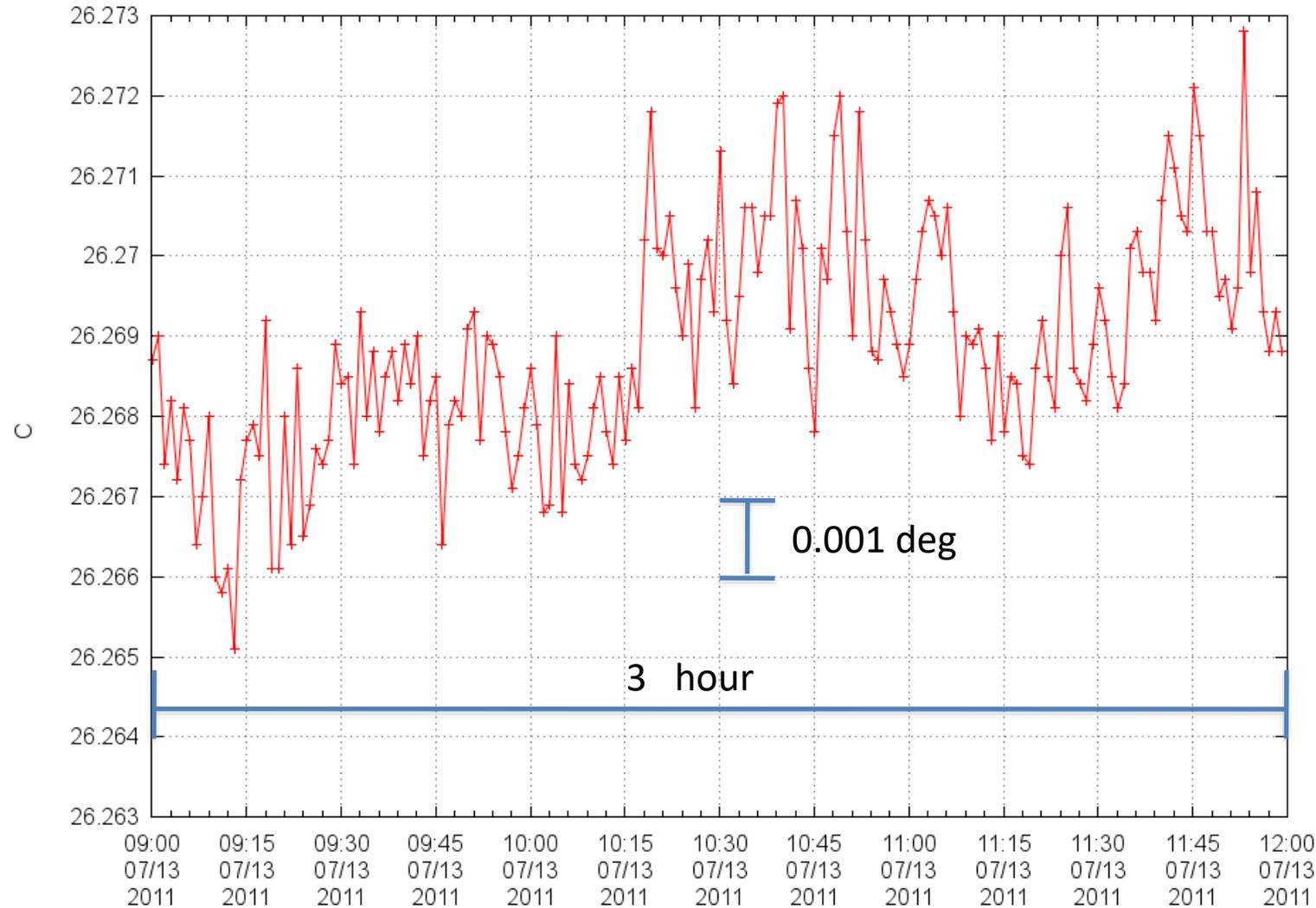


E069による測定

光源棟 Q架台

石定板の温度

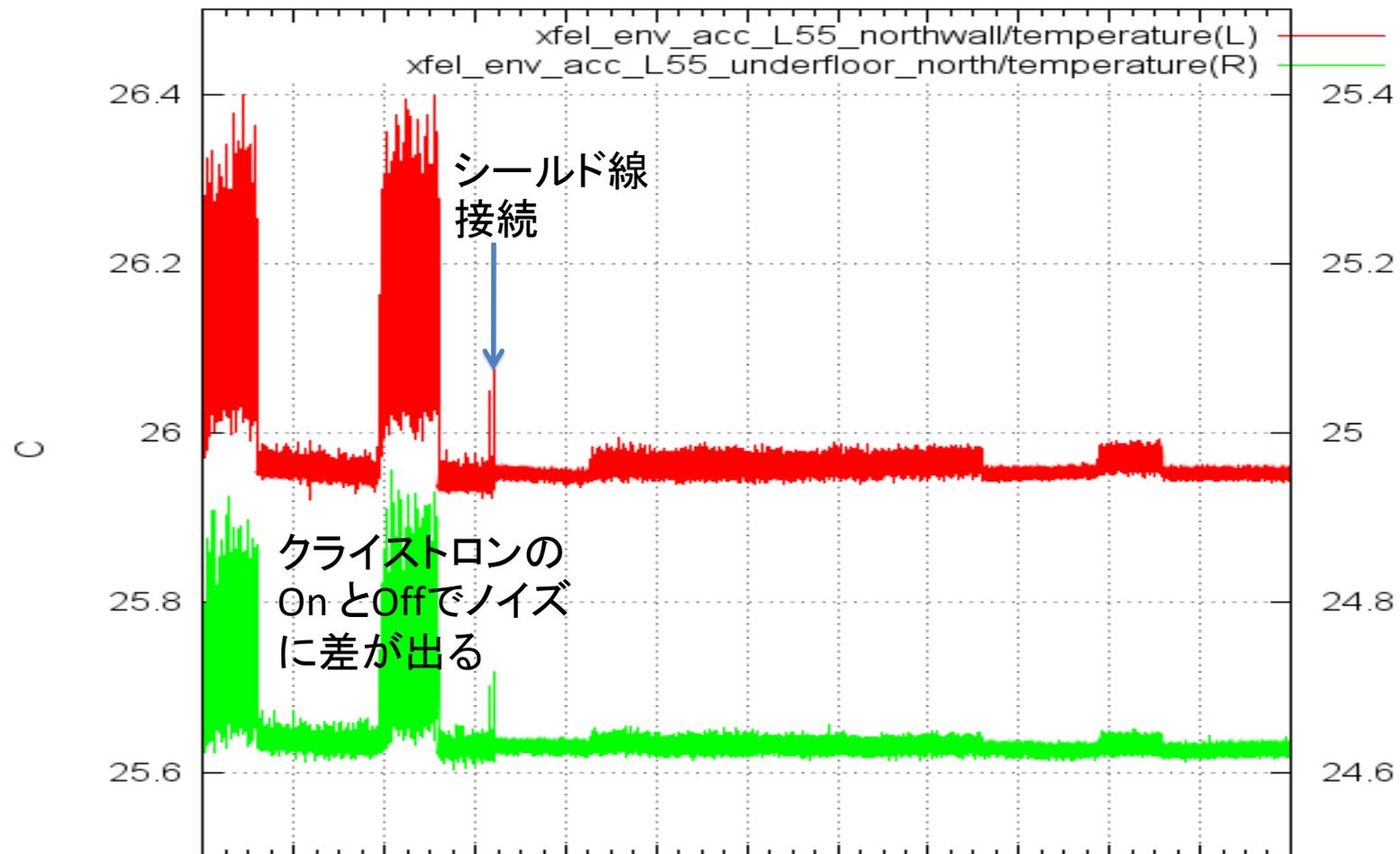
xfel_env_id_Q_bl3-1-1-1_slate/temperature
Position



壁内部のセンサーのシールド線をケーブルラックに接続

E069 アナロググランドはケーブルラックに接続

L55で実施
2011.10.21.



00:0012:0000:0012:0000:0012:0000:0012:0000:0012:0000:0012:0000:00
10/2010/2010/2110/2110/2210/2210/2310/2310/2410/2410/2510/2510/26
2011 2011 2011 2011 2011 2011 2011 2011 2011 2011 2011 2011 2011

2-2

(センサ別)環境測定(温度、振動 別)

- 1) 湿度
- 2) 水位
- 3) HLS レベル(床、架台上)
- 4) WPS
- 5) 傾斜
- 6) 変位(亀裂、伸縮)

(センサ組合わせ)変動原因特定の例

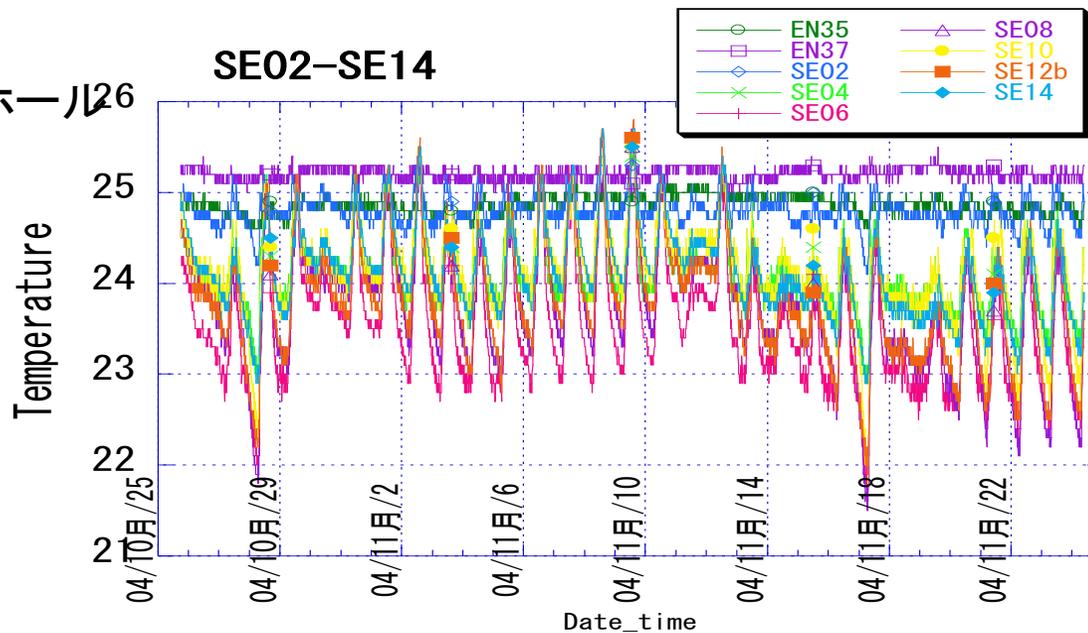
電源電圧、風速、温度、傾斜、WPS

1) 湿度

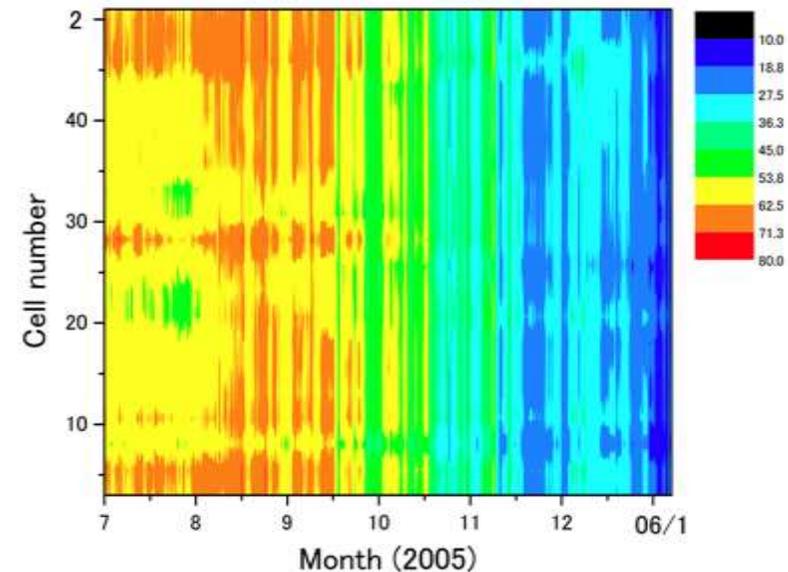
温度は場所による差があるが湿度は差があまりない。

実験ホール26

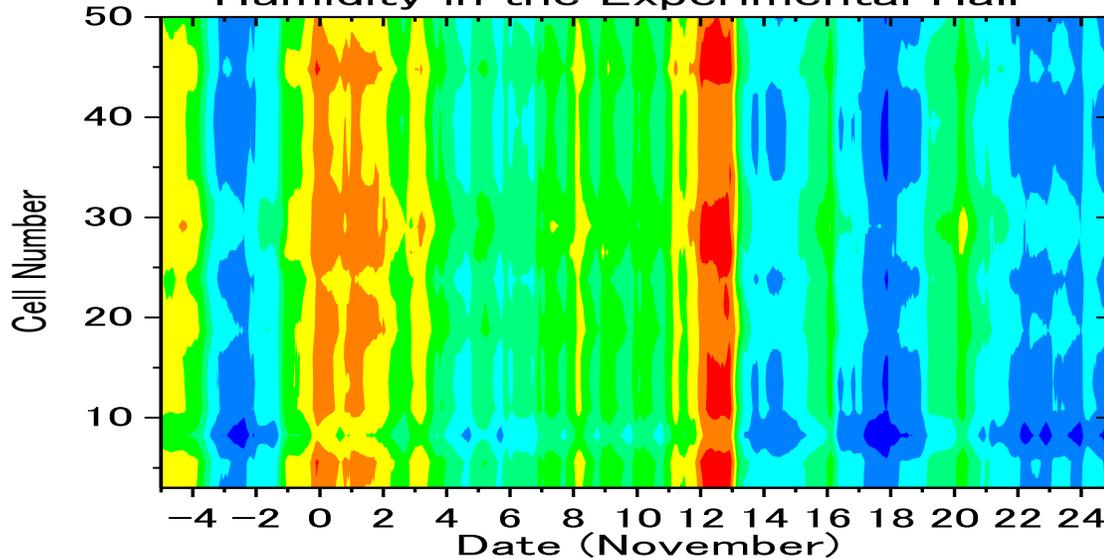
SE02-SE14



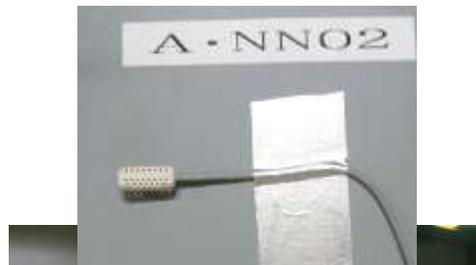
実験ホール 湿度



Humidity in the Experimental Hall



SE15
SE05

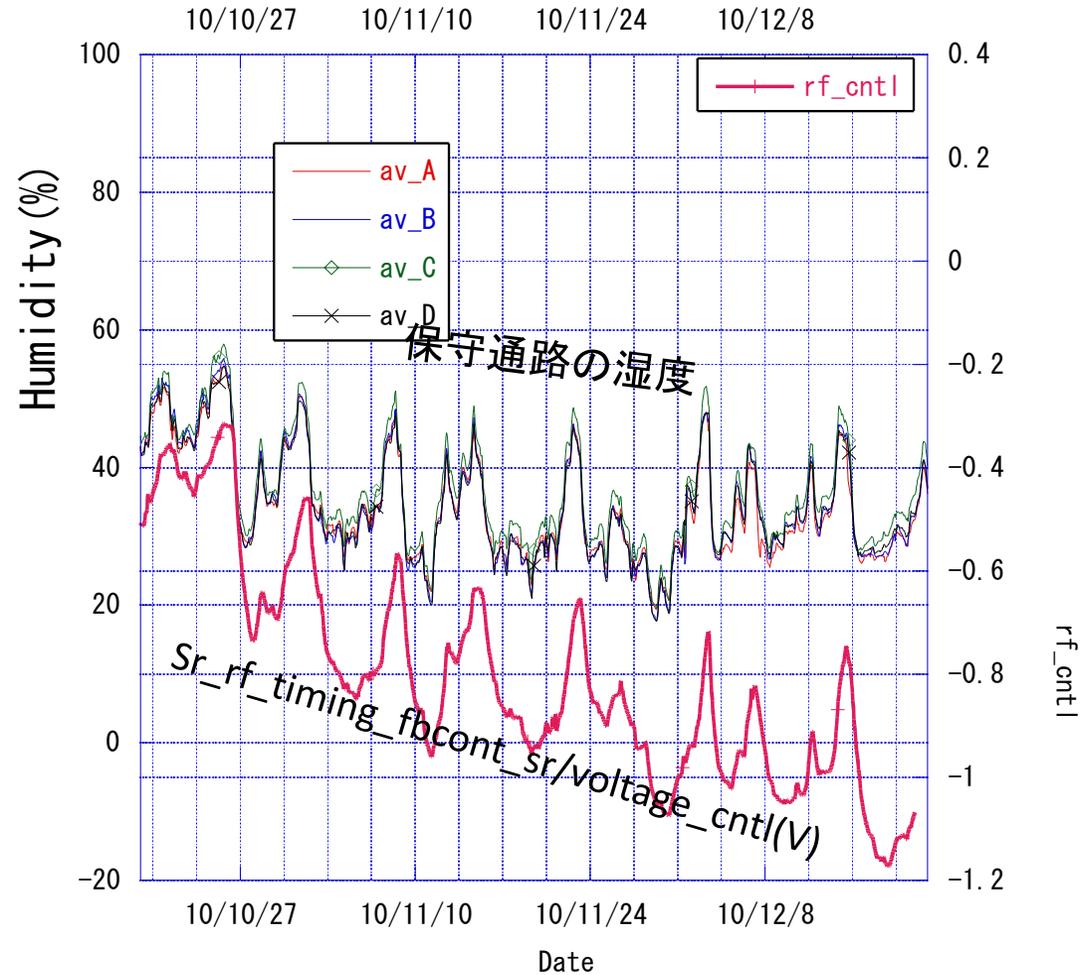


日置 データミニ

湿度 (ファイバー伝送RF位相と比較)

2010_10.19-12.21

date_rf

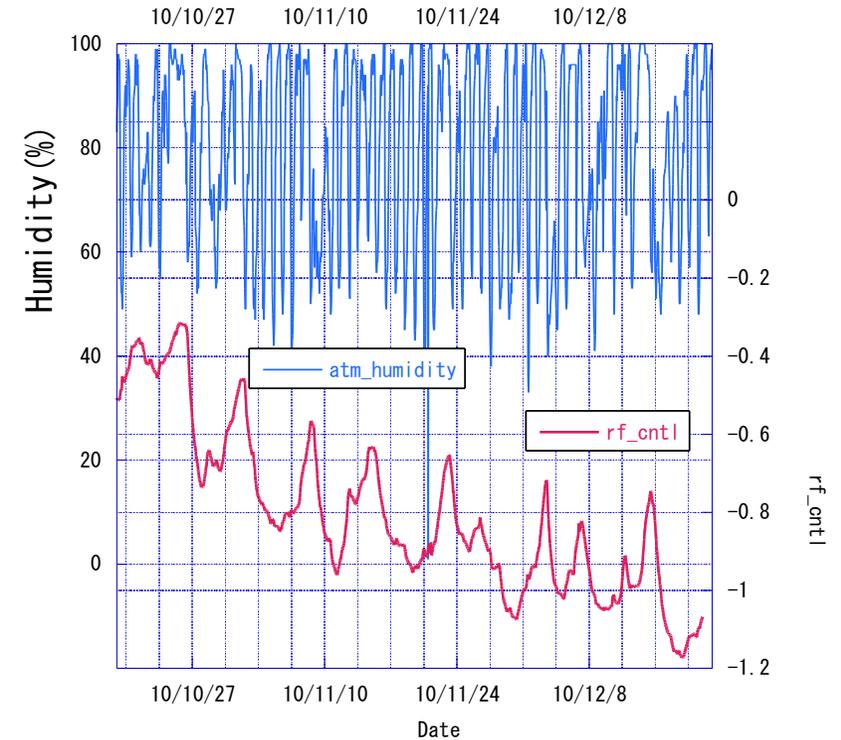


ファイバーの置かれている湿度が位相に影響するとわかってから調べてみた。

外気の湿度との関係

2010_10.19-12.21

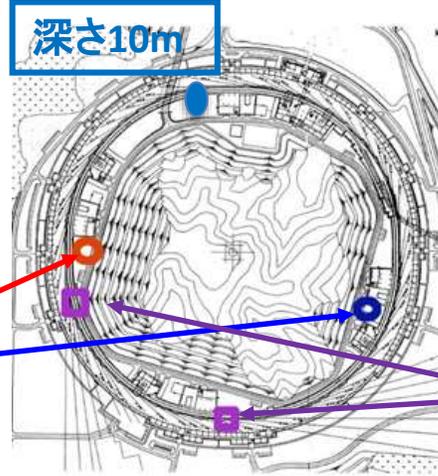
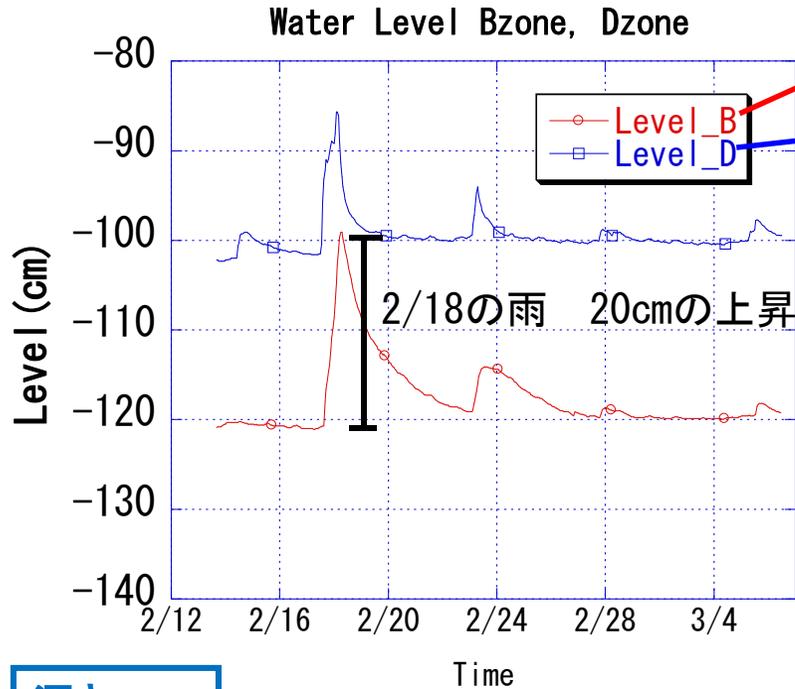
date_rf



2) 水位

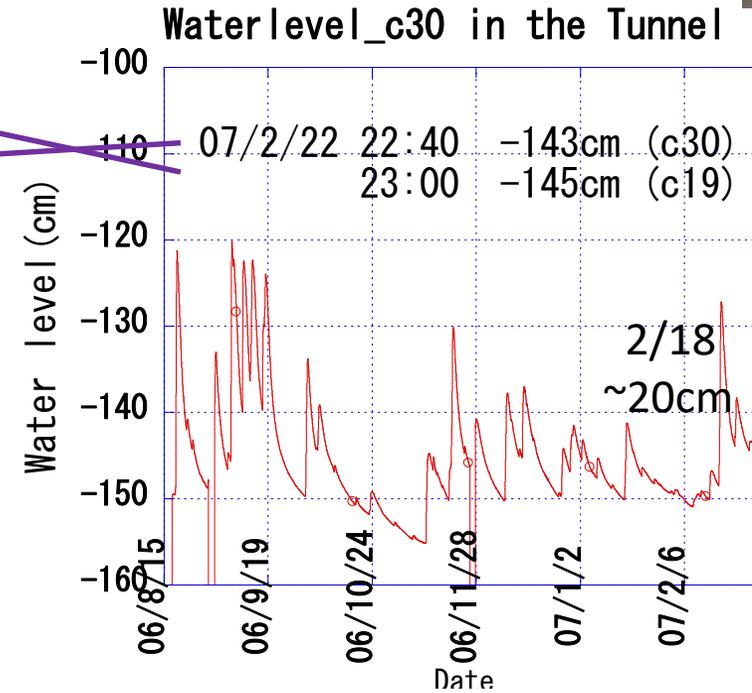
(内周道路沿い)

方式: 大気圧補正 水圧測定



(収納部)

方式: 浮き+磁気歪式センサー

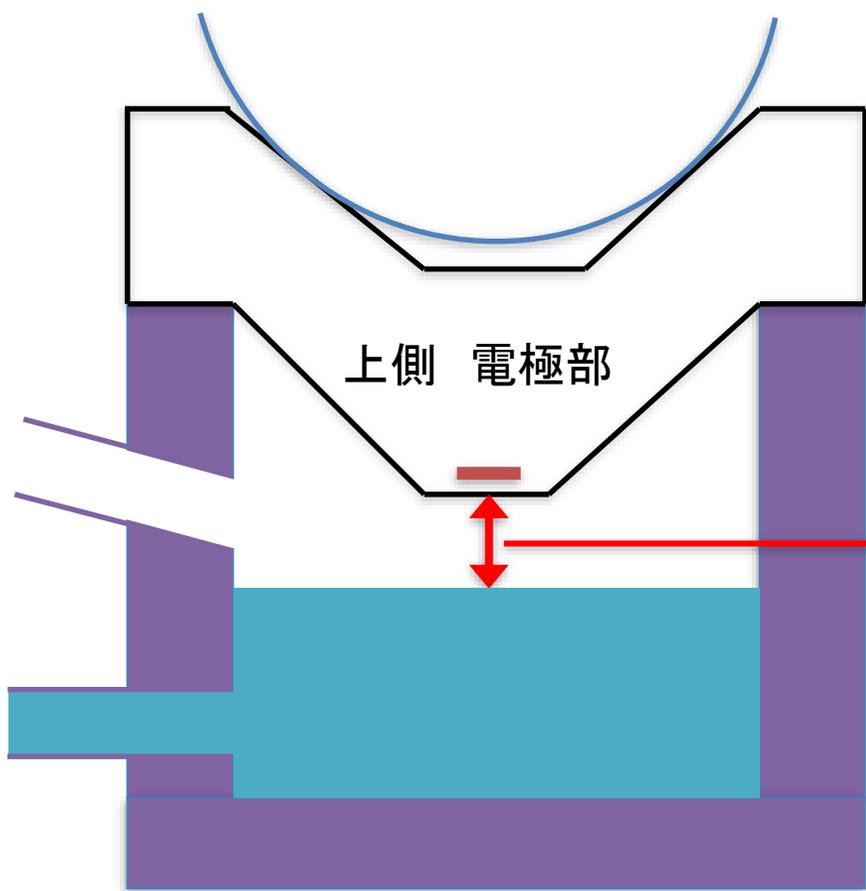


深さ10m

K. Tsumaki *et al.*, “地下水位のSPRING-8蓄積リング電子軌道に与える影響”, Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai, Japan, Aug. 2-4, 2006, pp. 947-949. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj3_lam31/Proceedings/F/FP69.pdf

リングの多くの部分はアンダーパス部を除き
床下1~1.5mに水位レベルがあり
変動幅は20~30cm程度ではないか

3) HLS (Hydro Leveling Sensor)



2インチの球を載せることができるので、水のつながっていないセンサーとも精度は落ちるが接続できる。

測定原理 静電容量
上側 電極
下側: 水面の上面

測定範囲 6~8.5mm(2.5mm)
出力 6mm:0V 8.5mm:10V

したがって出力の向きは設置床の高さの向きと同じになる。

レンジの短いもの(1.5mm)や長いもの(15mm)がある。



2つのHLSをチューブでつないでつくった4mの水平の基準。

https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2016/proceedings/PDF/MOP1/MOP135.pdf

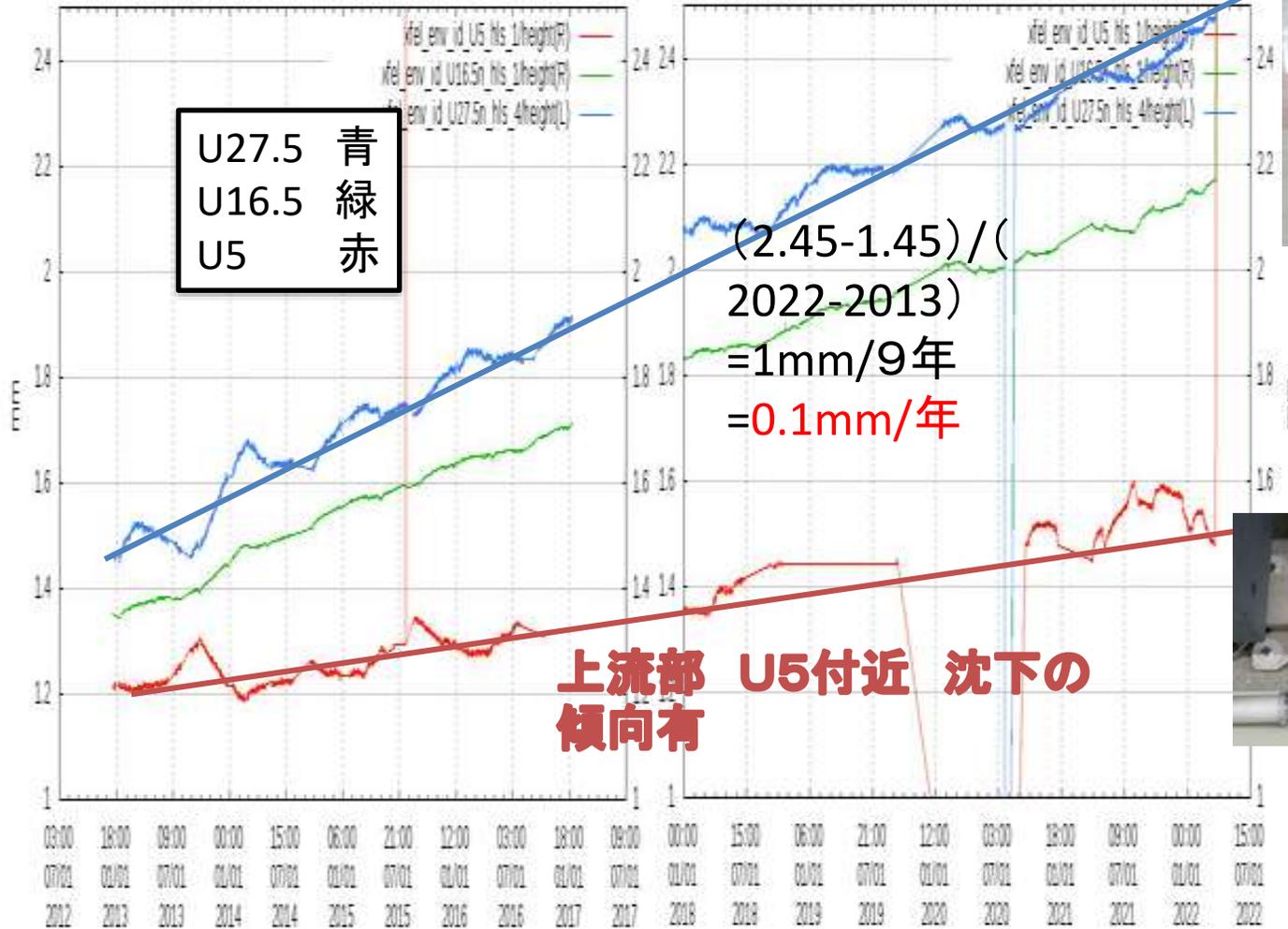
HLS長期(9年間)データ (SACLA光源棟)

水の蒸発のため3か所とも上向きになっている

U27.5 安定な所
U5 沈下している

U27.5の安定なところが水が年間0.1mmほど蒸発しているため床が上昇しているように見える。実際にはここが安定で変化しないと考えるとU5付近は沈下しているとみなせる。蒸発はビニールからと思われる。

大きく沈下するところがないのでレンジ2.5mmの下の方からスタートすれば20年弱は補充しなくてすむのではないか。



U27.5

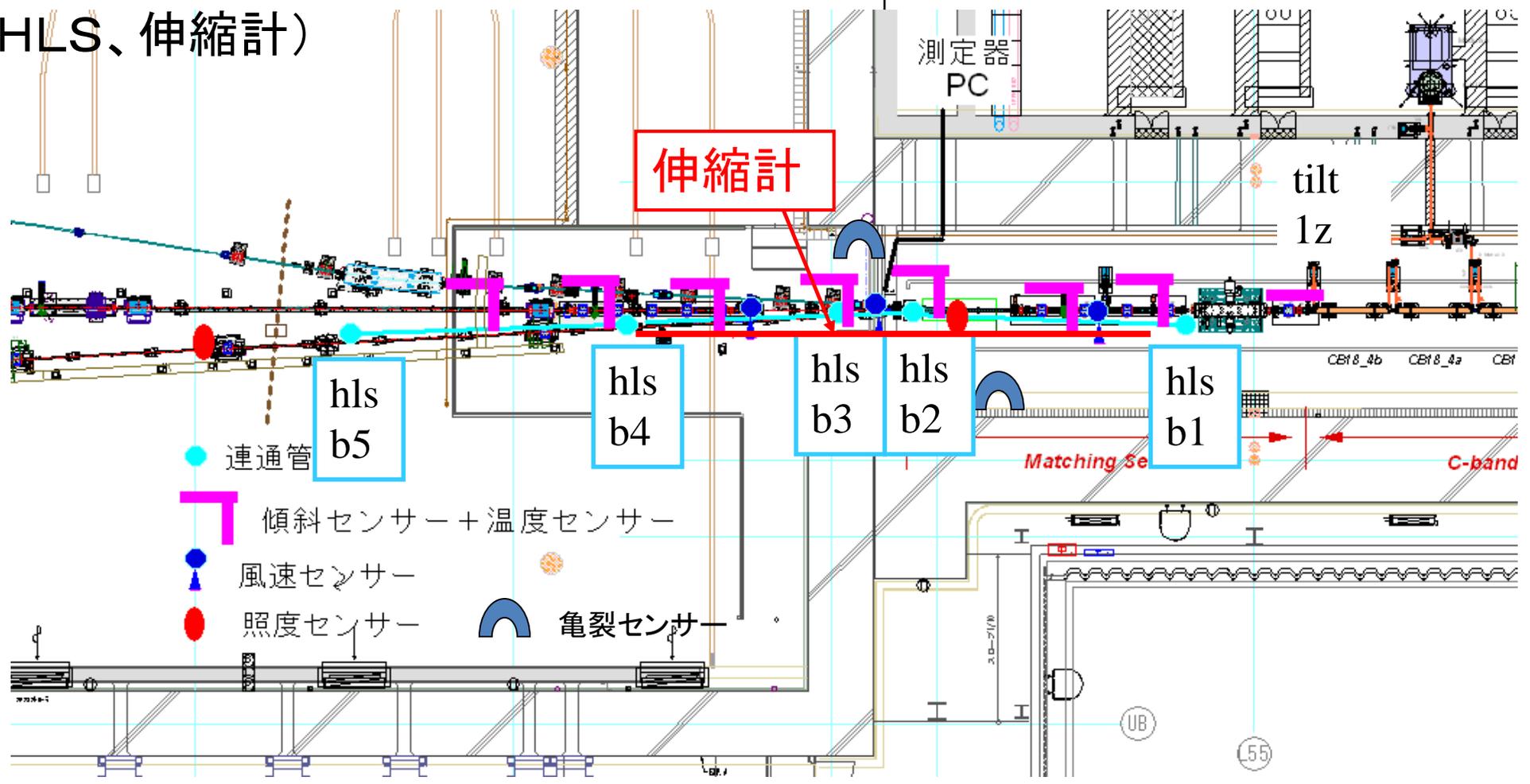


U5

センサー配置 (SACLA境界部) (HLS、伸縮計)

光源棟

加速器棟



伸縮計

hls
b5

hls
b4

hls
b3

hls
b2

hls
b1

- 連通管
- └ 傾斜センサー+温度センサー
- 風速センサー
- 照度センサー
- ⤿ 亀裂センサー

測定器
PC

tilt
1z

Matching Se

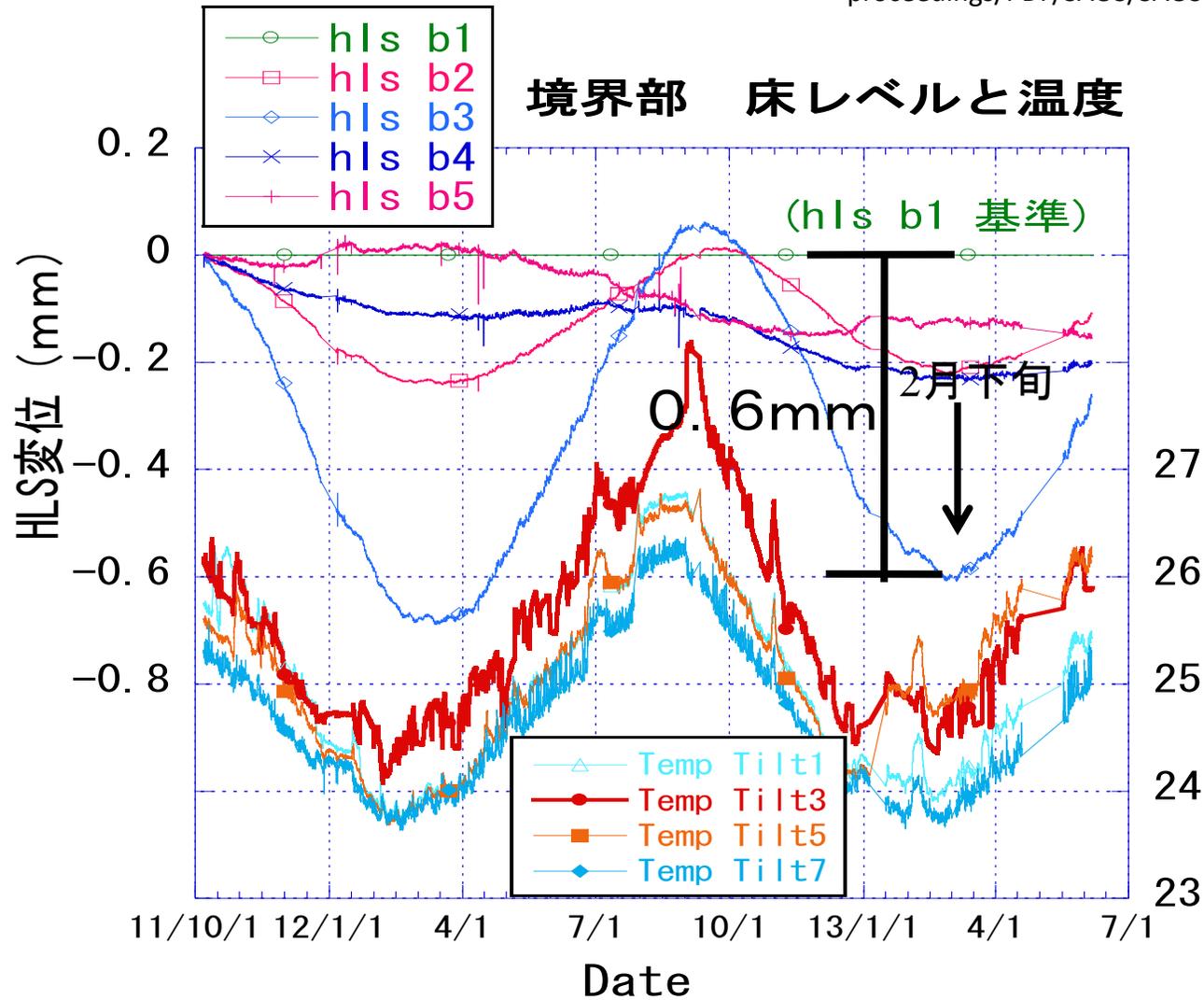
C-band

UB

L55

HLS測定例 (SACLA境界部の沈下)

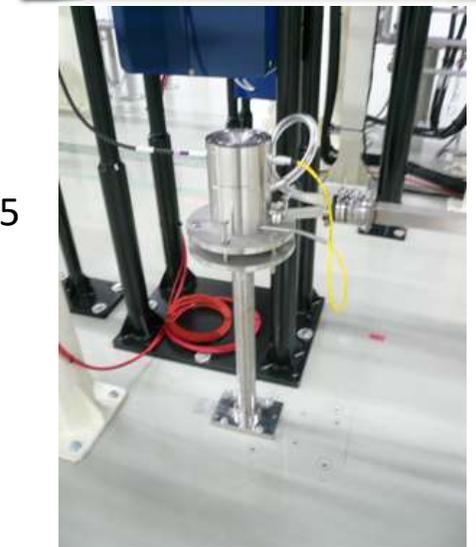
https://www.pasj.jp/web_publish/pasj10/proceedings/PDF/SAOS/SAOS10.pdf



hls b1



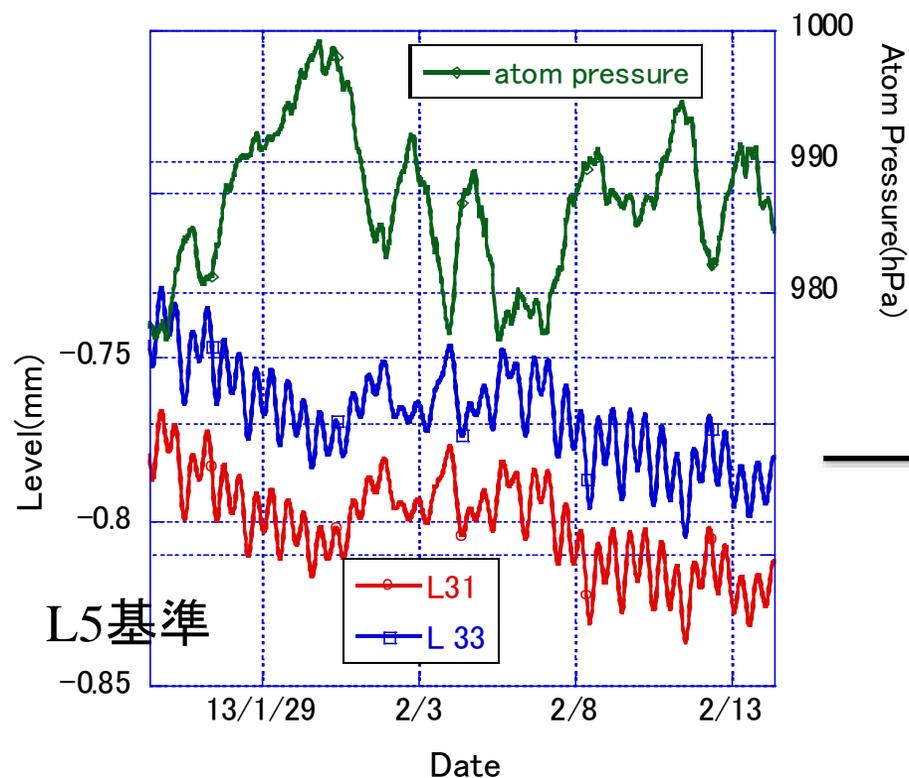
hls b2



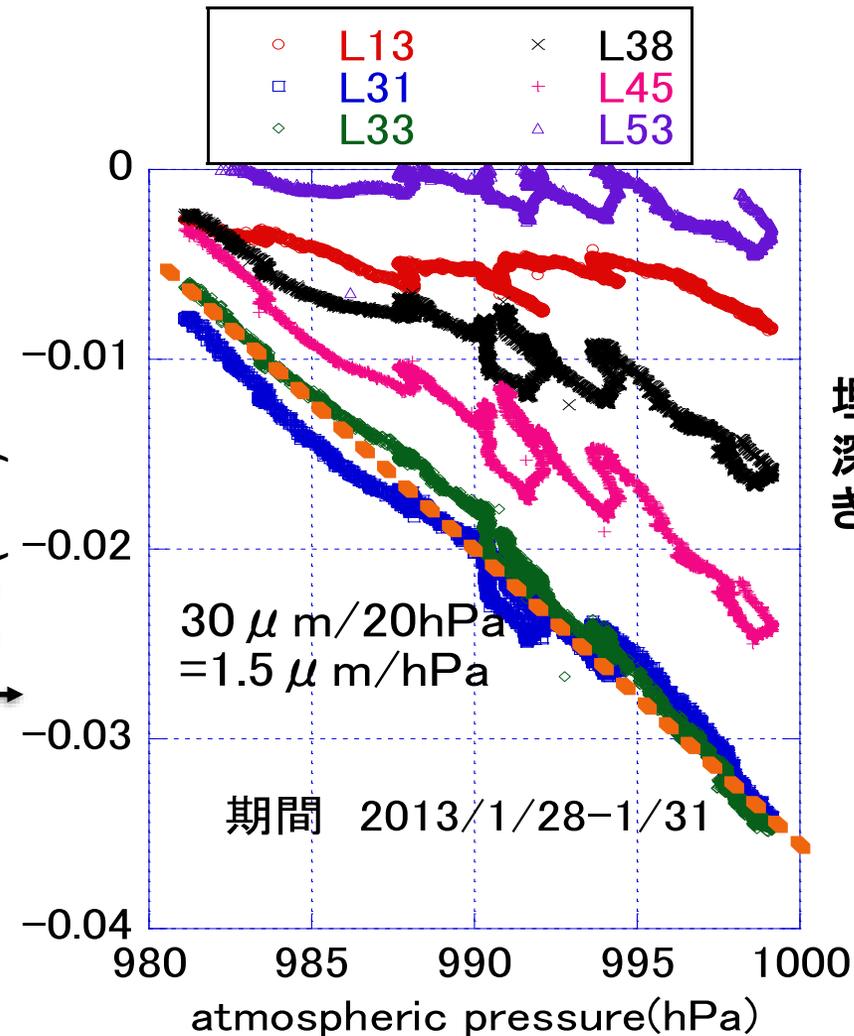
温度 (°C)
hls b5

HLS測定例 (SACLA加速器棟の気圧による沈下)

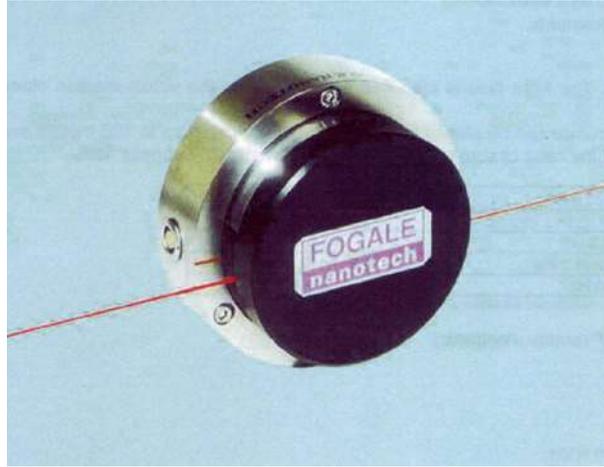
沈下の大きいところ =
L31, L33 埋め立ての最も深いところ



横軸を気圧にしたもの



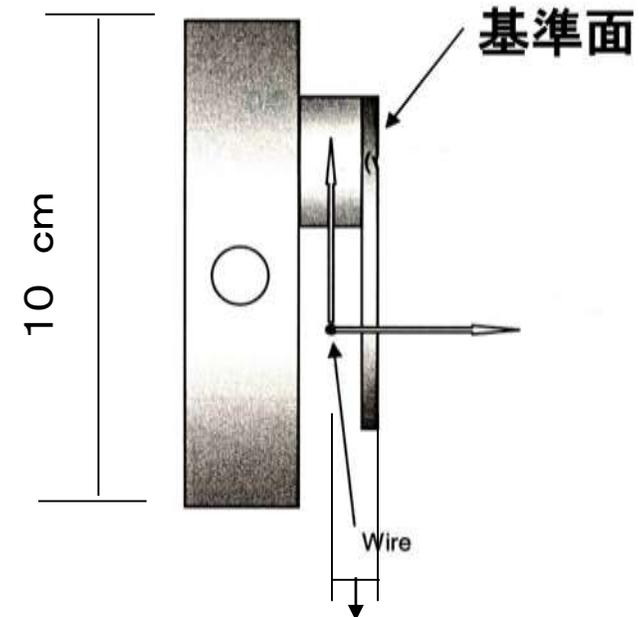
4) WPS (Wire Positioning Sensor)



測定レンジ 2.5mm

分解能 $\sim 0.1\mu\text{m}$

出力 アナログ 0~10 V

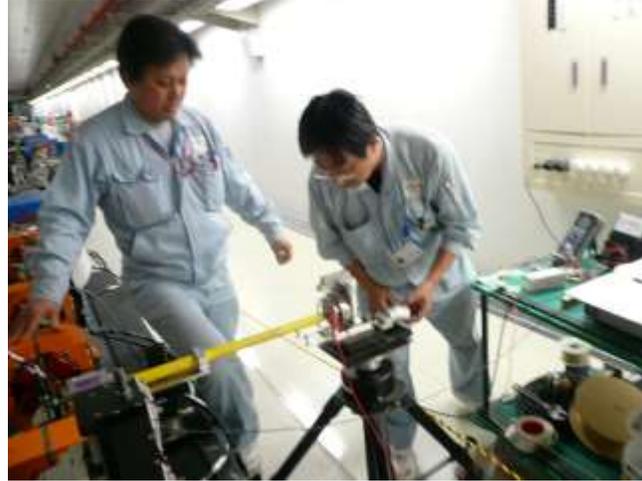


基準面からの水平距離: 出力電圧

WPSによる測定例

センサー出力=
0.04V/10 μ m

BPM側面の測定



センサーの位置は $\pm 3\mu$ m程度
で設置(接触すると電氣的につ
ながるのでテスターで針が触れ、
その位置がわかる)

モニュメントの測定



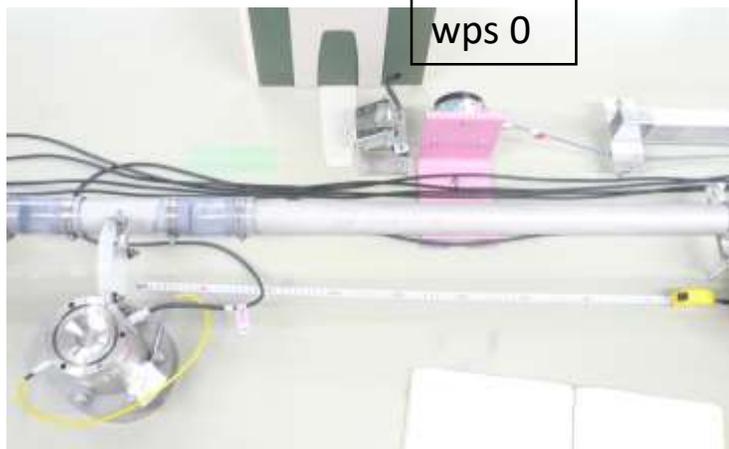
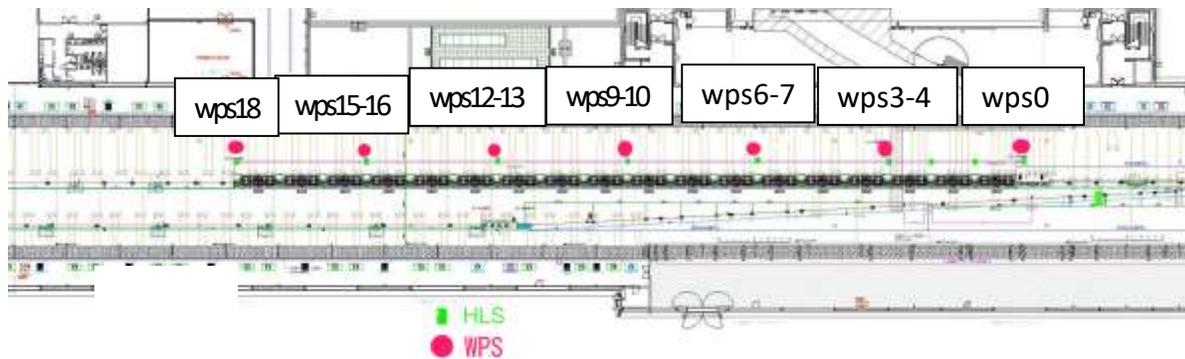
https://www.pasj.jp/web_publish/pasj8/proceedings/poster/MOPS163.pdf

モニュメントの上にワイヤ133m張ったところ



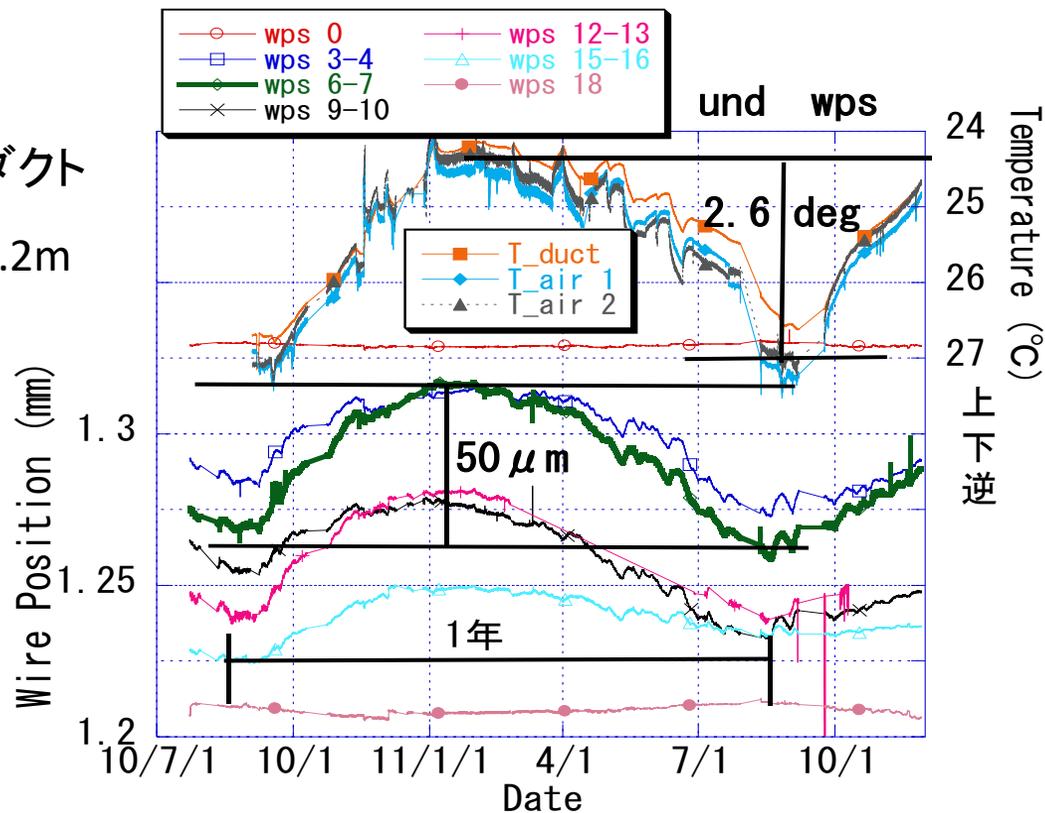
WPSによる測定例

光源棟 床の南北位置と室温



温度
床下ダクト
床上0.2m

南北位置
床の位置
上が北

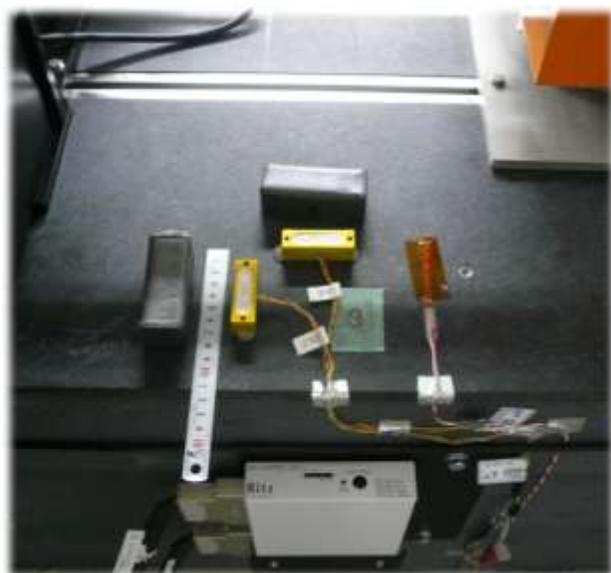


5)傾斜センサー(アメリカ Spectron社製)

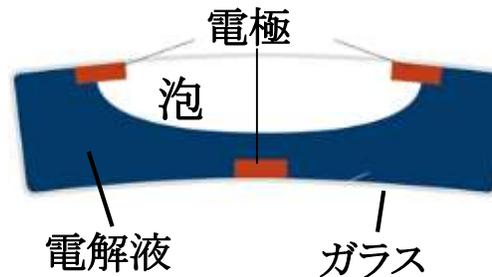
電解液タイプ $0.1\mu\text{rad}=1\text{mV}$

小さくて高精度が可能 分解能 $\sim 1\text{ nrad}$
光源棟 潮汐の傾斜変化が見える

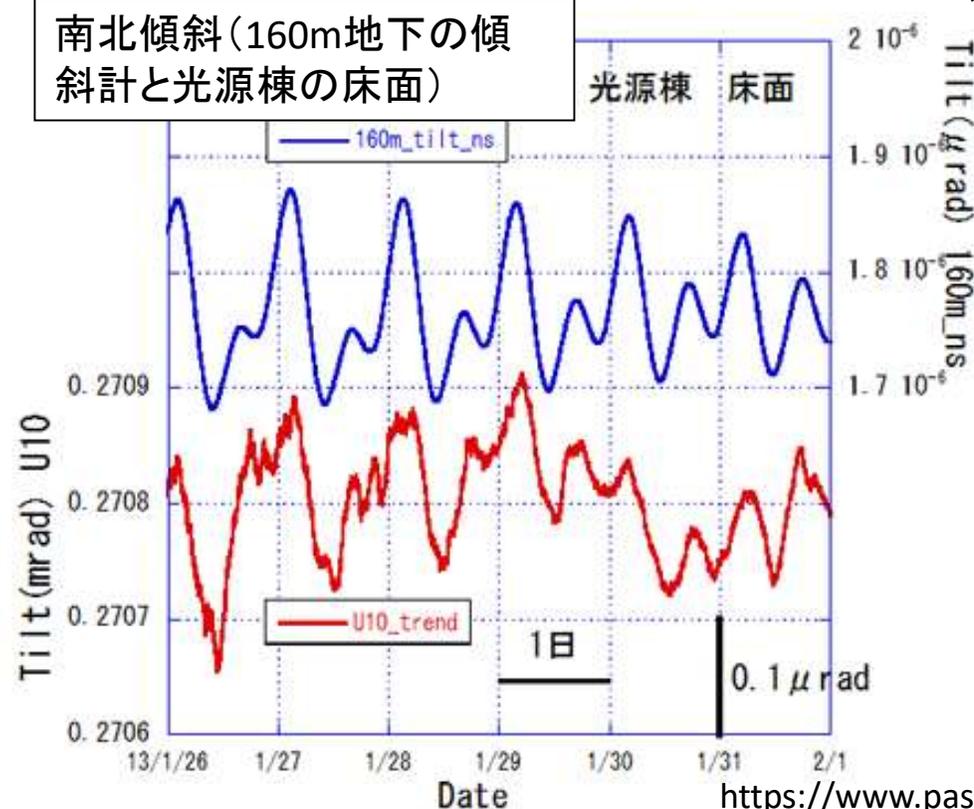
センサー+アンプをAGI社から購入するか
センサーとアンプをSpectron社から購入し
組み立てるか して測定できる



光源棟 石架台のそりが測定できる



自作アンプ

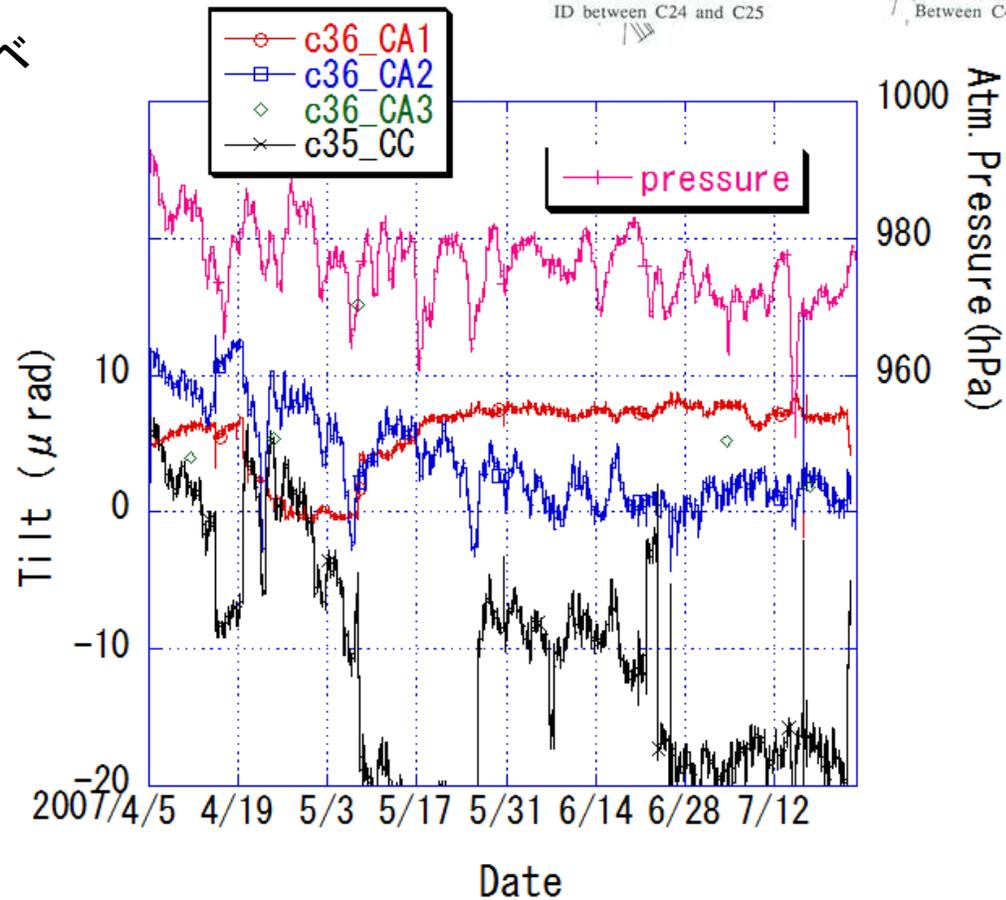
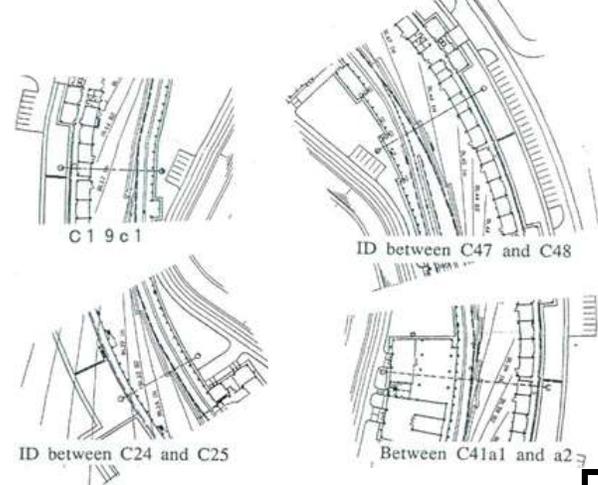


傾斜センサー測定例

気圧による変形

C36排水管付近の上の床のベースプレートの傾斜測定

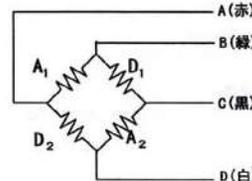
電解液式傾斜センサー



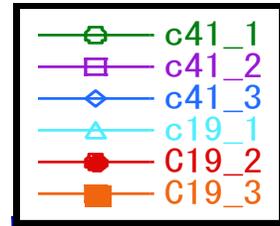
6)変位(亀裂)



(株)東京測器研究所

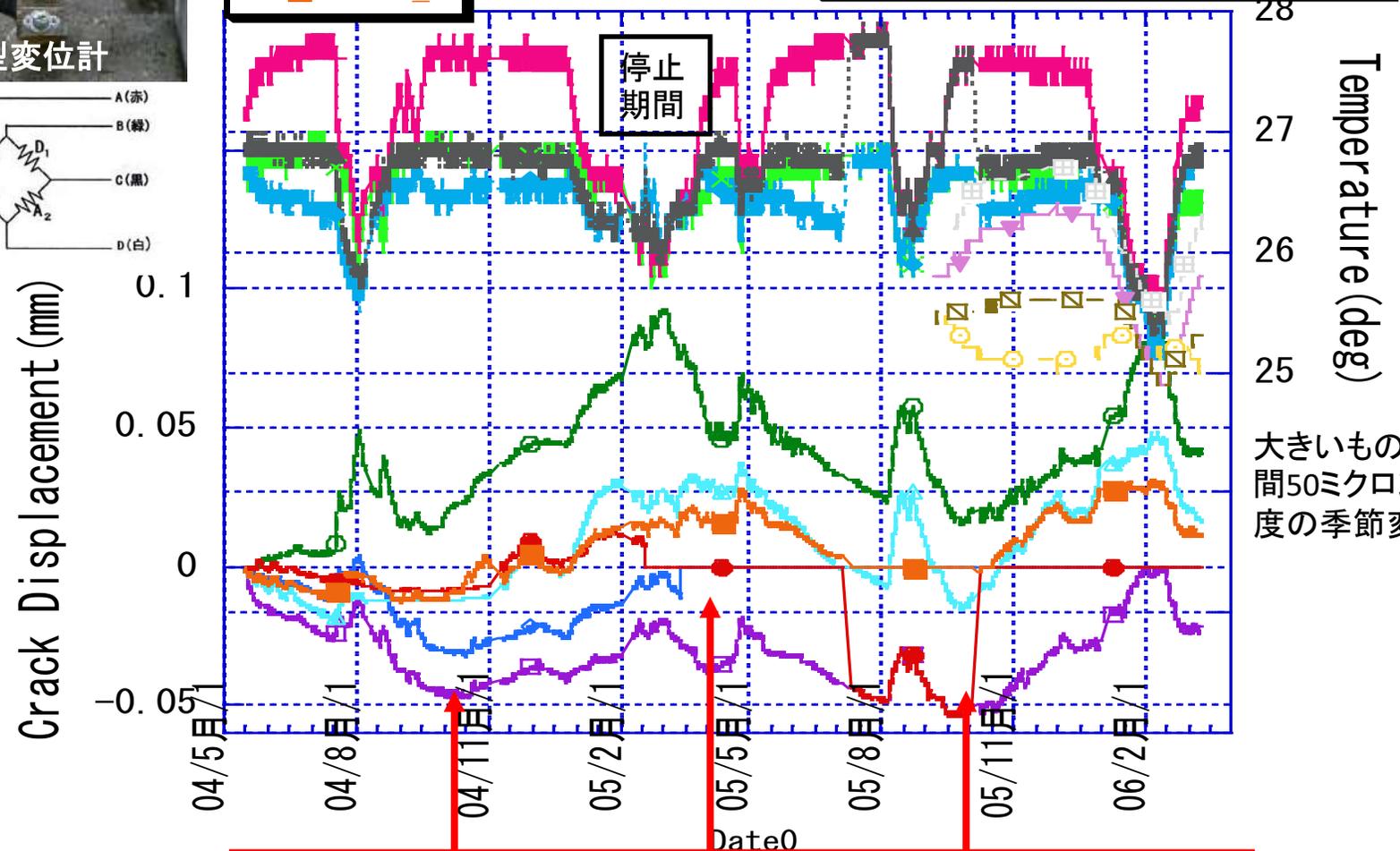
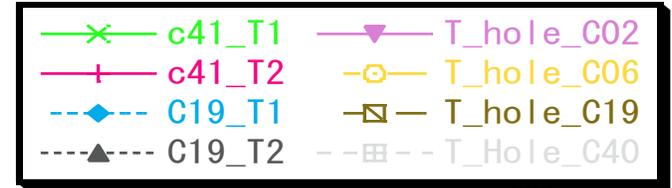


トリガー付き電圧計(日置データミニ3645)でリレー(OMRON G6A-274P 5vDC)を駆動しアンプ(TAK-01)に電源を供給し、ブリッジに定電圧を加え、出力を記録する。レンジ±2mmのパイ型変位計(PI-2S-50)だと、1ミクロンの変位に0.2mVの出力が得られるので、データミニ3645の最小電圧0.01mVは0.05ミクロンに対応する。



停止期間になると温度が下がる

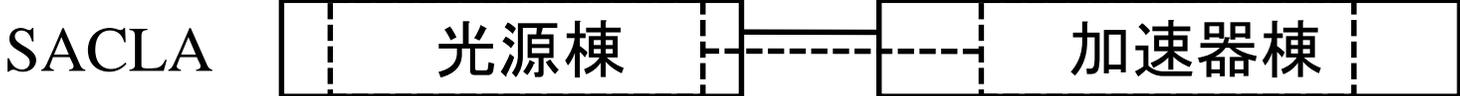
Crack



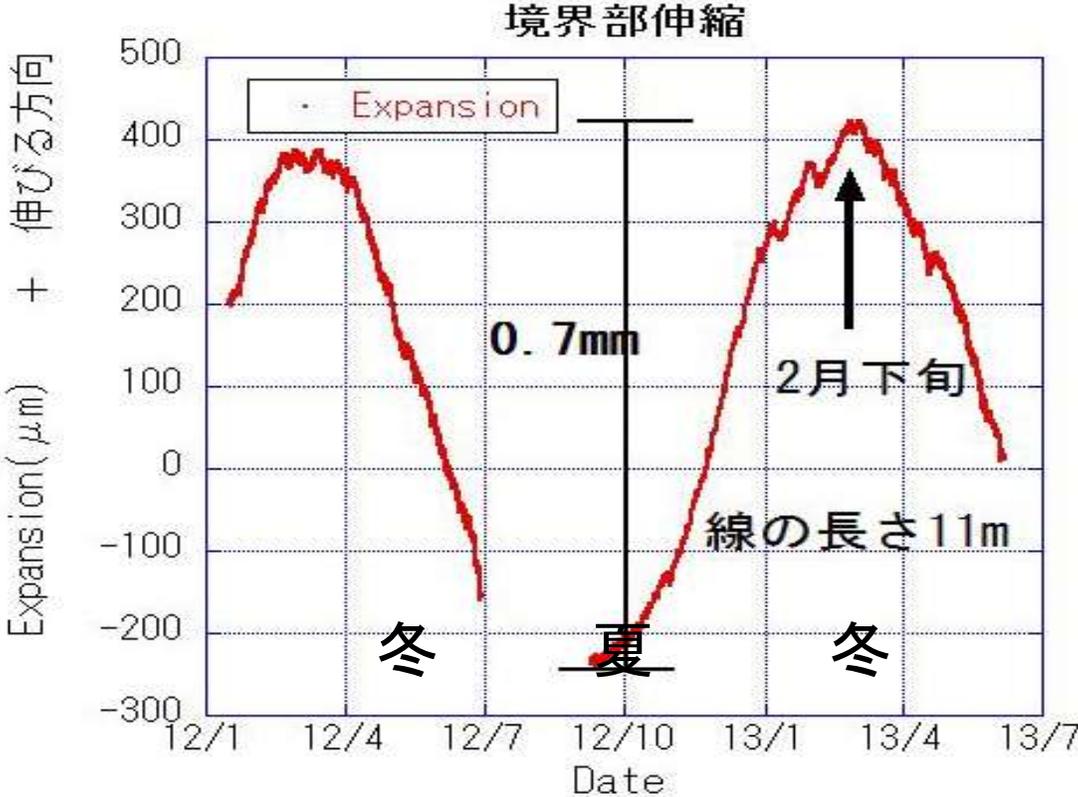
大きいもので年間50ミクロン程度の季節変化

周長の年周期変化が4月と10月で変曲点になるのと似ている

変位(伸縮) 冬 それぞれ縮む=間の距離は伸びる
沈下する



コンクリートの膨張率 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を使うと11mで 3°C の変化で
 $11\text{m} \times 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \times 3^{\circ}\text{C} = 0.3\text{mm}$



伸縮計
スーパーインバー線使用

(センサ組合わせ) 変動原因特定の例

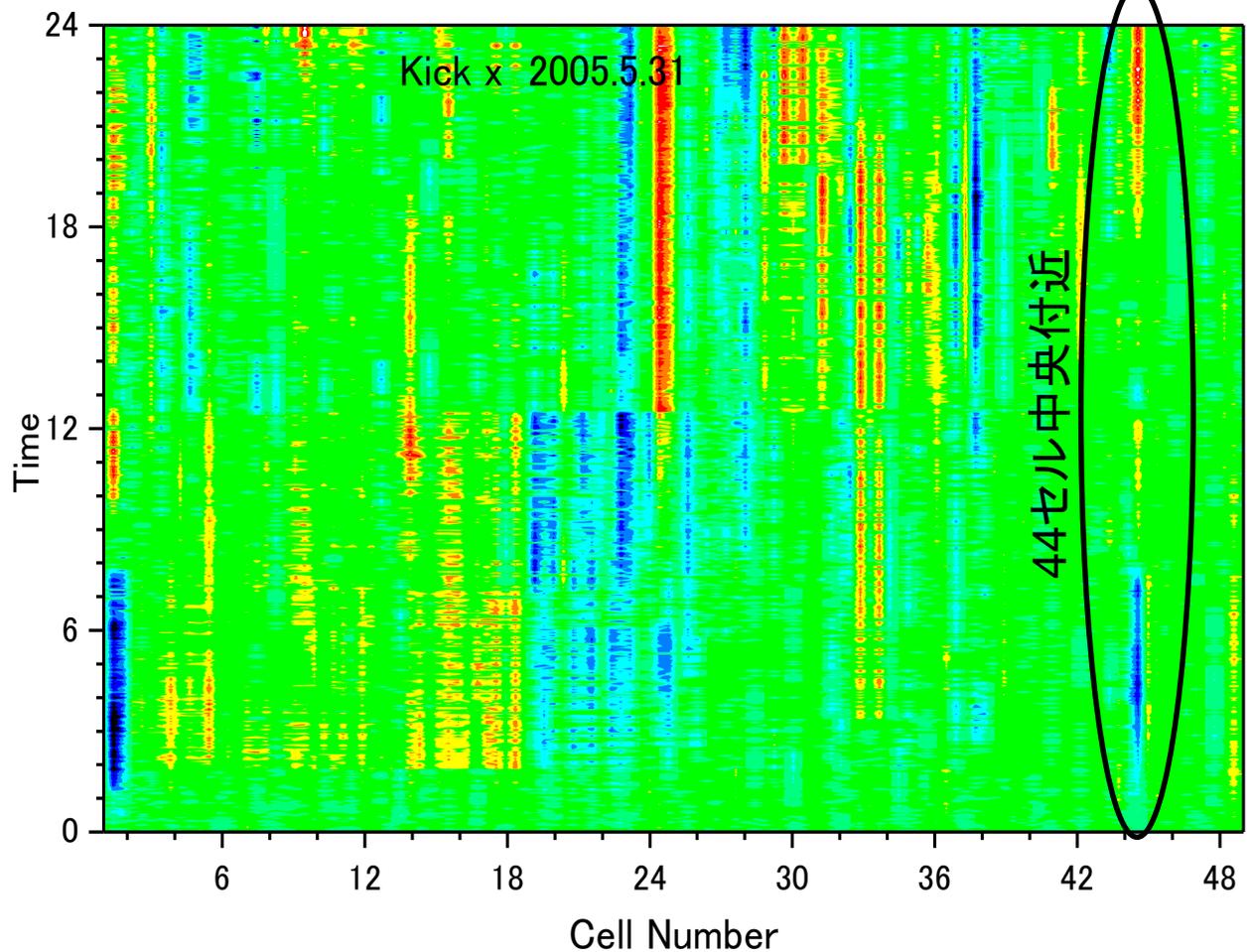
エラーキックの場所を特定するための計算 ←

CODの変化

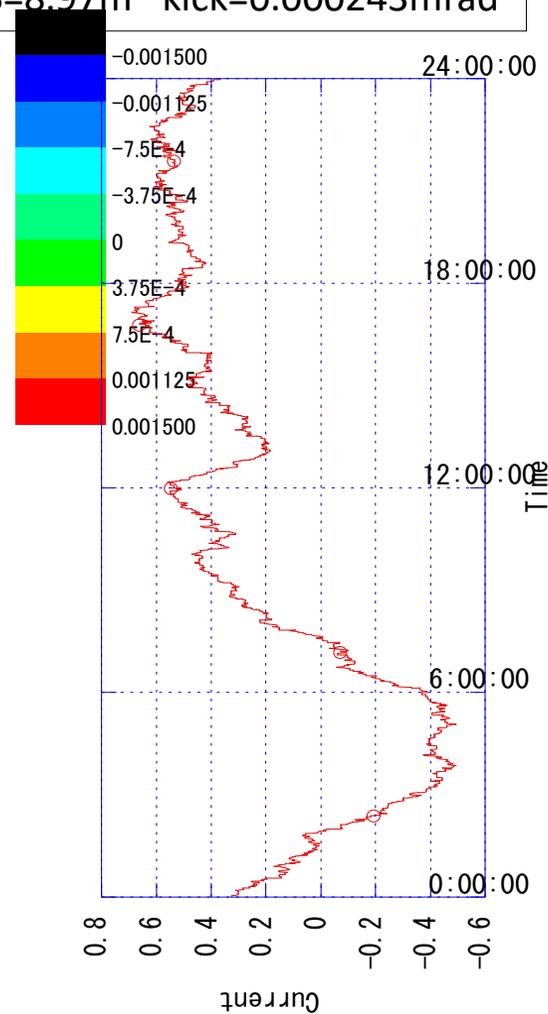
全周を144に分割(48セル×3) 30秒間隔

水平方向のキック 1日間の例(2005.5.31)

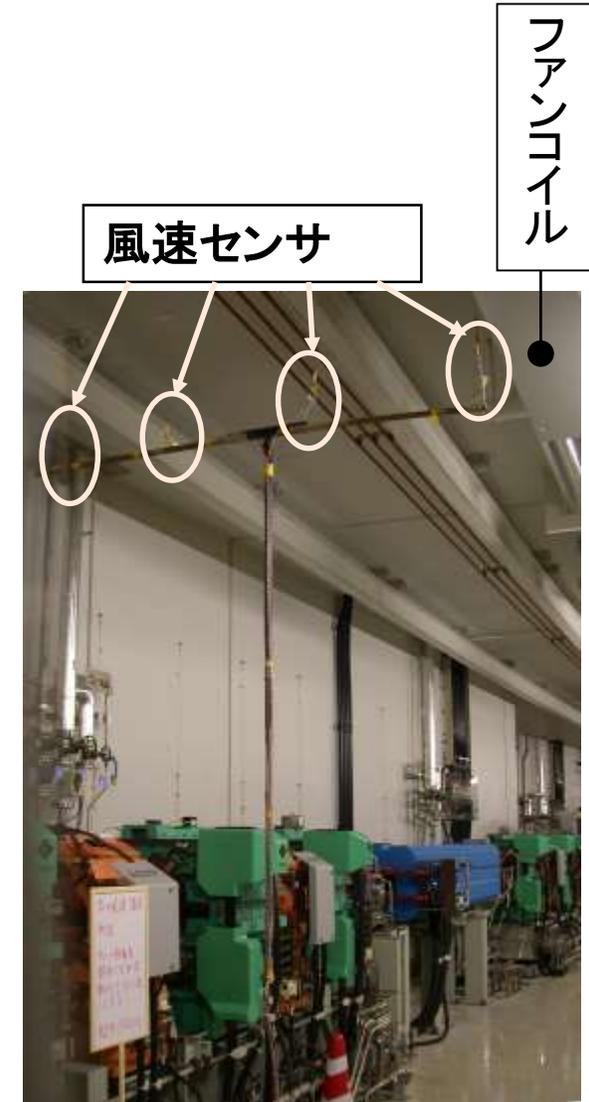
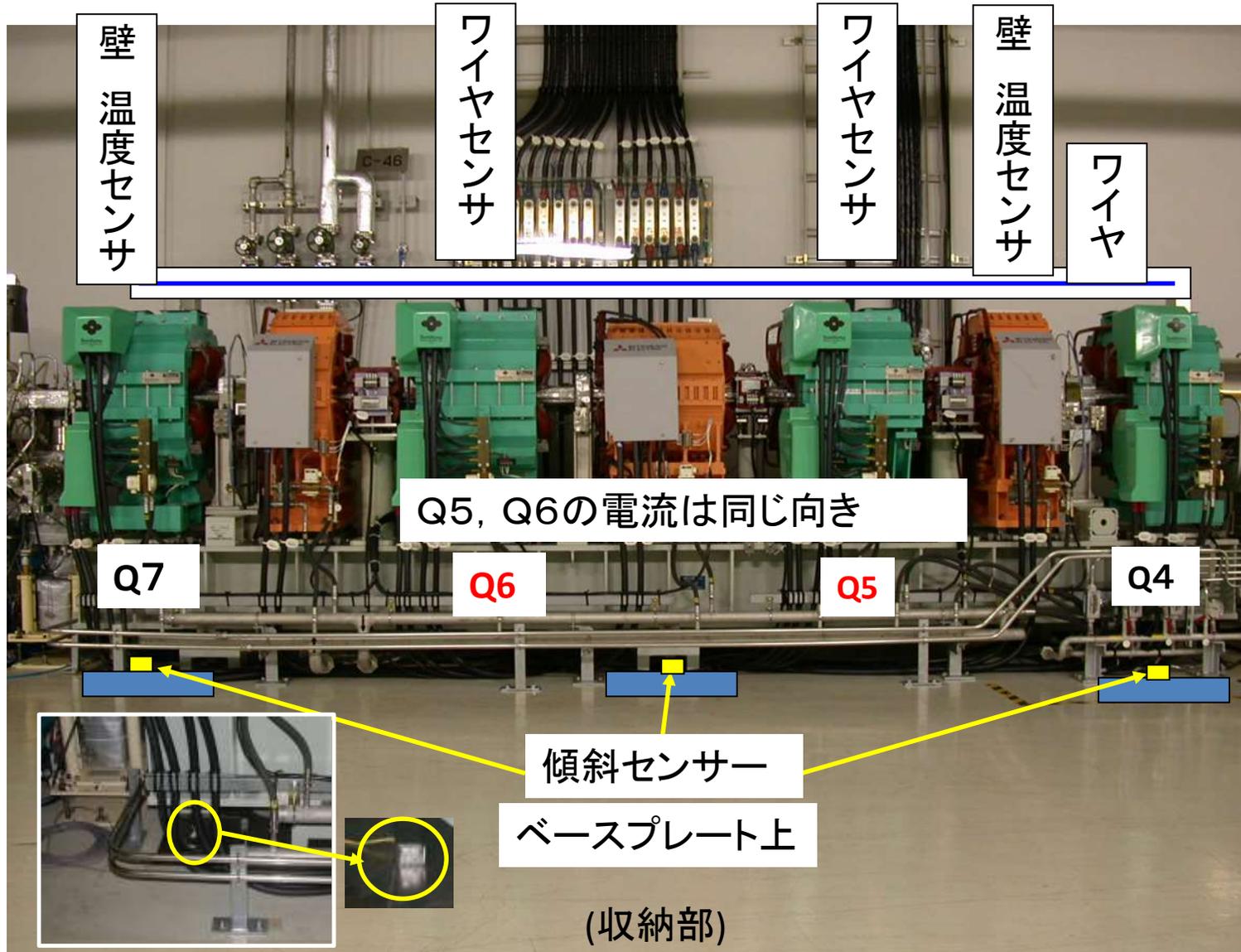
例 0:01:04 S=8.97m kick=0.000243mrad



Kick(mrad)

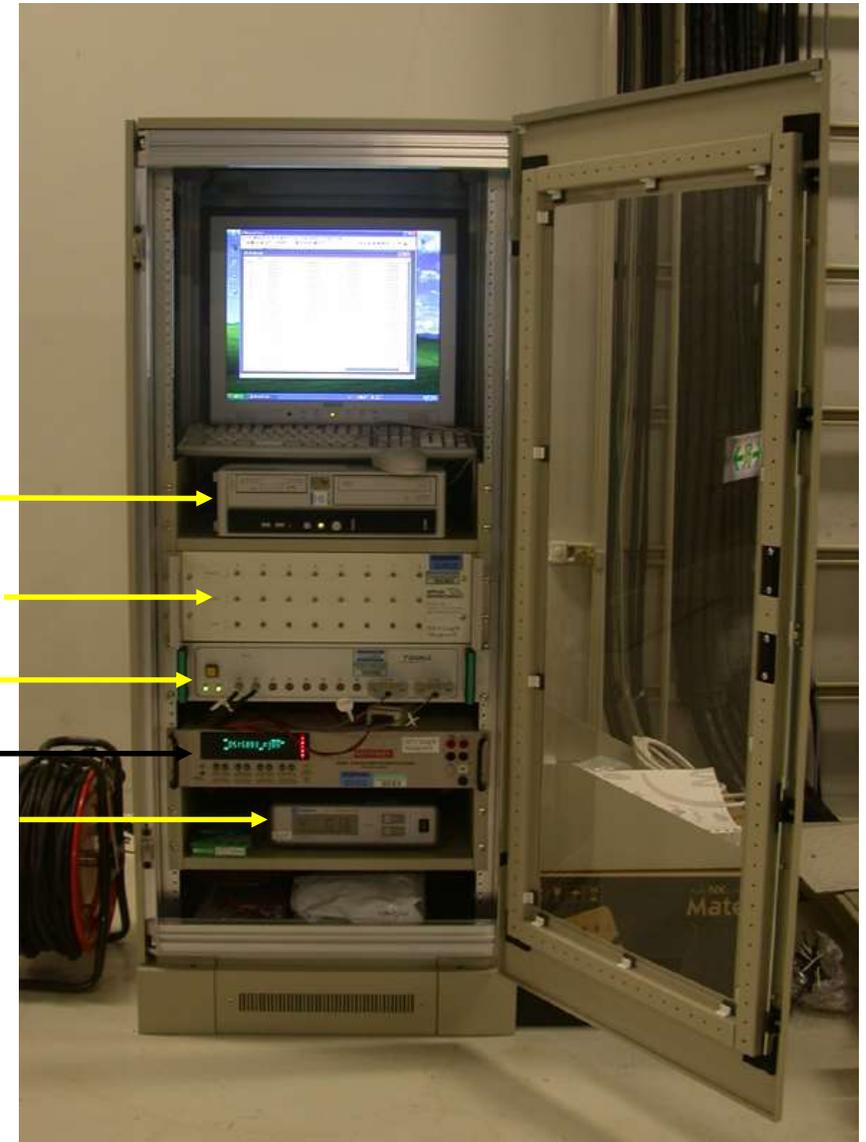
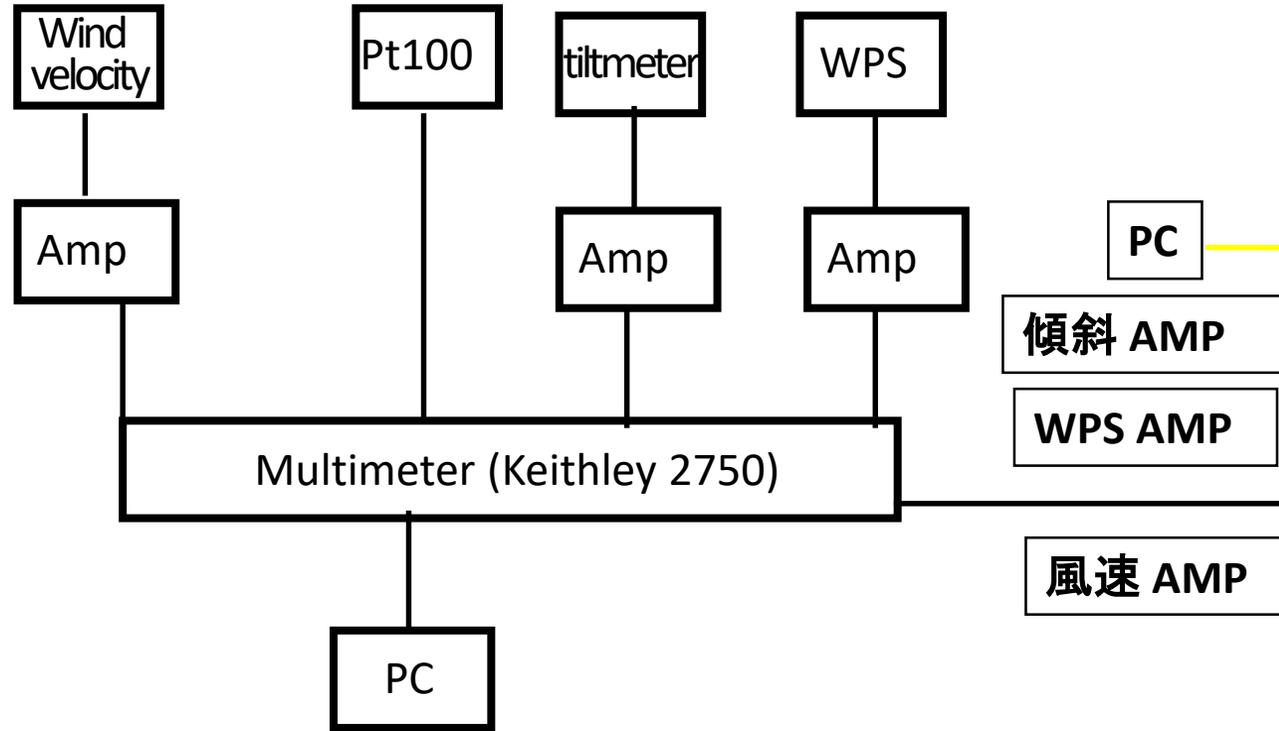


変動を予測してセンサを設置



データ収集系

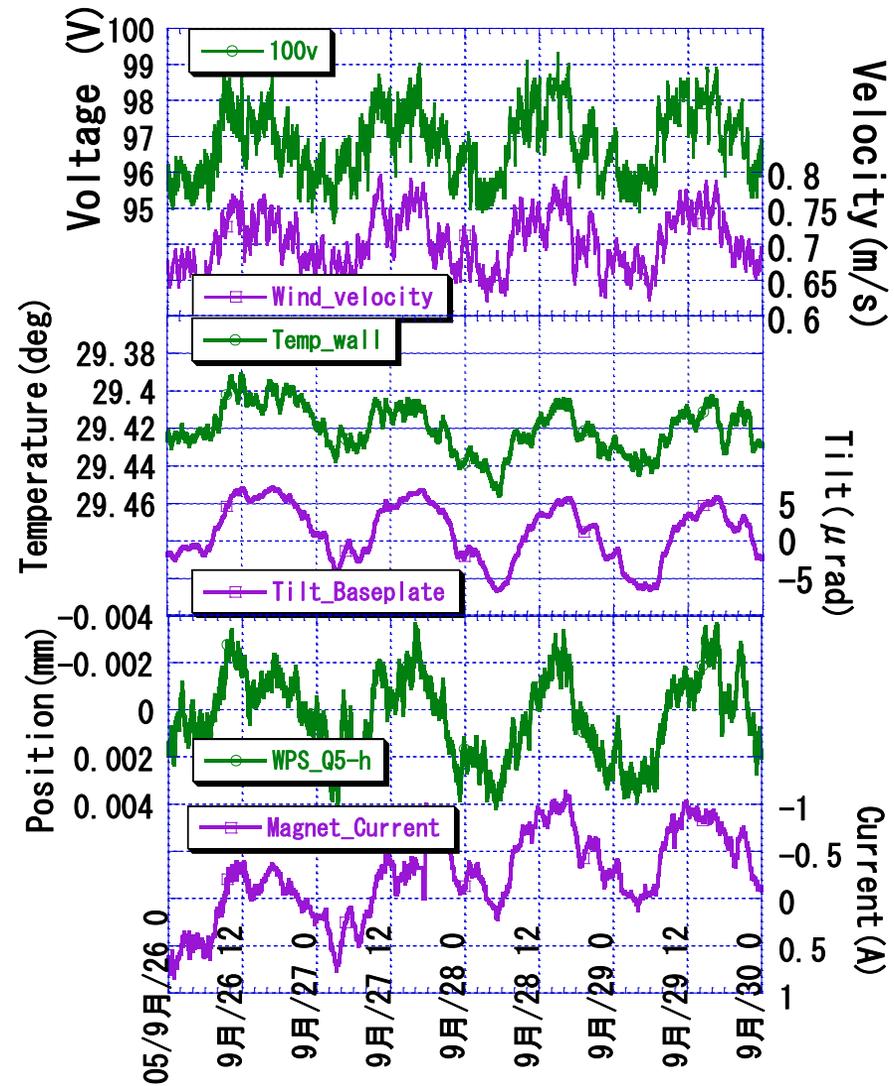
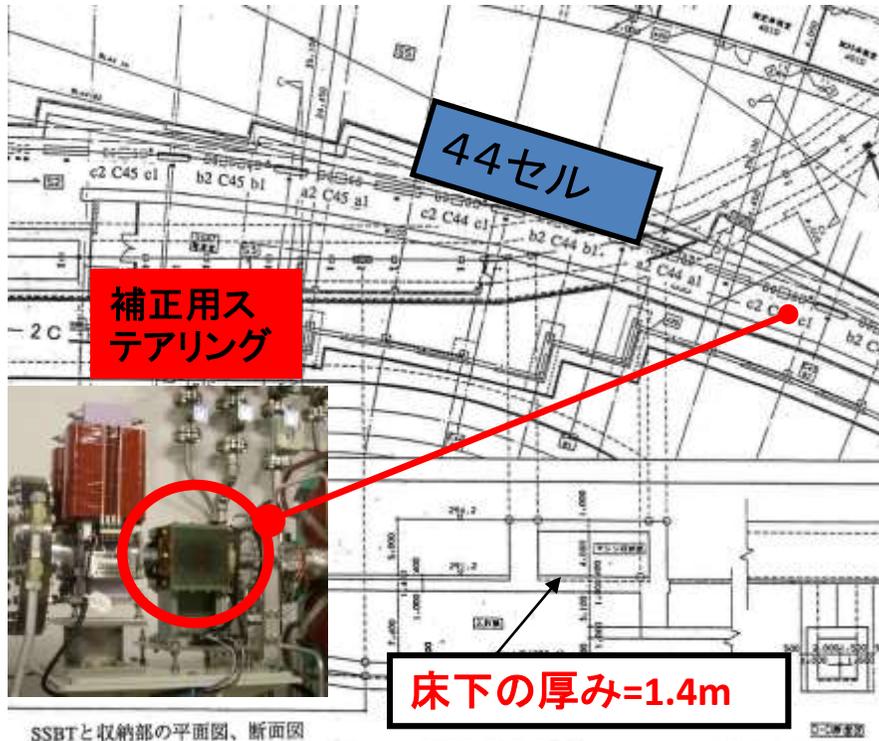
いろいろな種類のセンサーをアナログ電圧でまとめて記録する



(保守通路)

原因を特定

- 電源電圧5%変動で
- ファンの風速は10%変化
- 対する壁の温度変化
- 床下が薄いので床のねじれ
- B架台のねじれ
- B架台中央のQ横移動
- エラーキック



対策:ファン電源の電圧安定化

2-3 振動測定

測定器：

多チャンネルFFT Graduo
小野測器製 24bit分解能

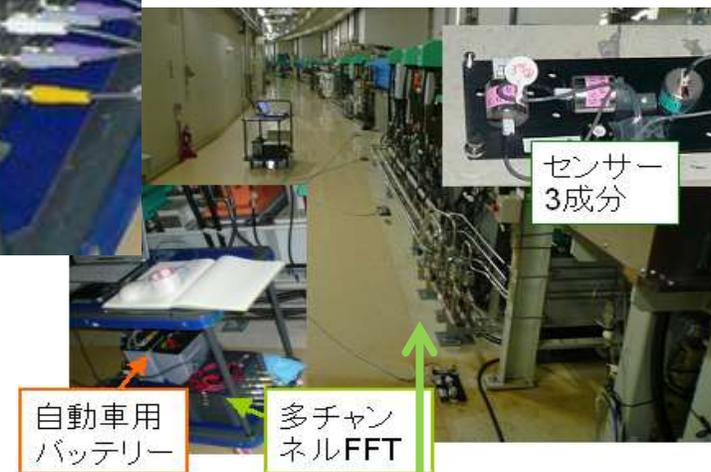
チャンネル数は増やすことが
できる

バッテリー駆動OK



収納部床面測定の場合

測定点 ~3.5m間隔
同時に4か所 12ch



架台の端から50cm離れた点
厚い塗装面を避けるため

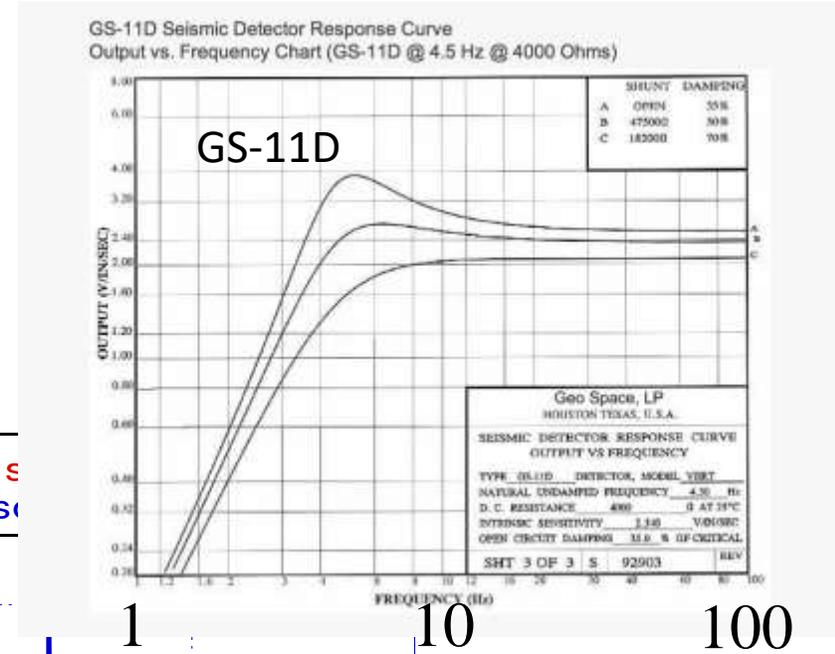
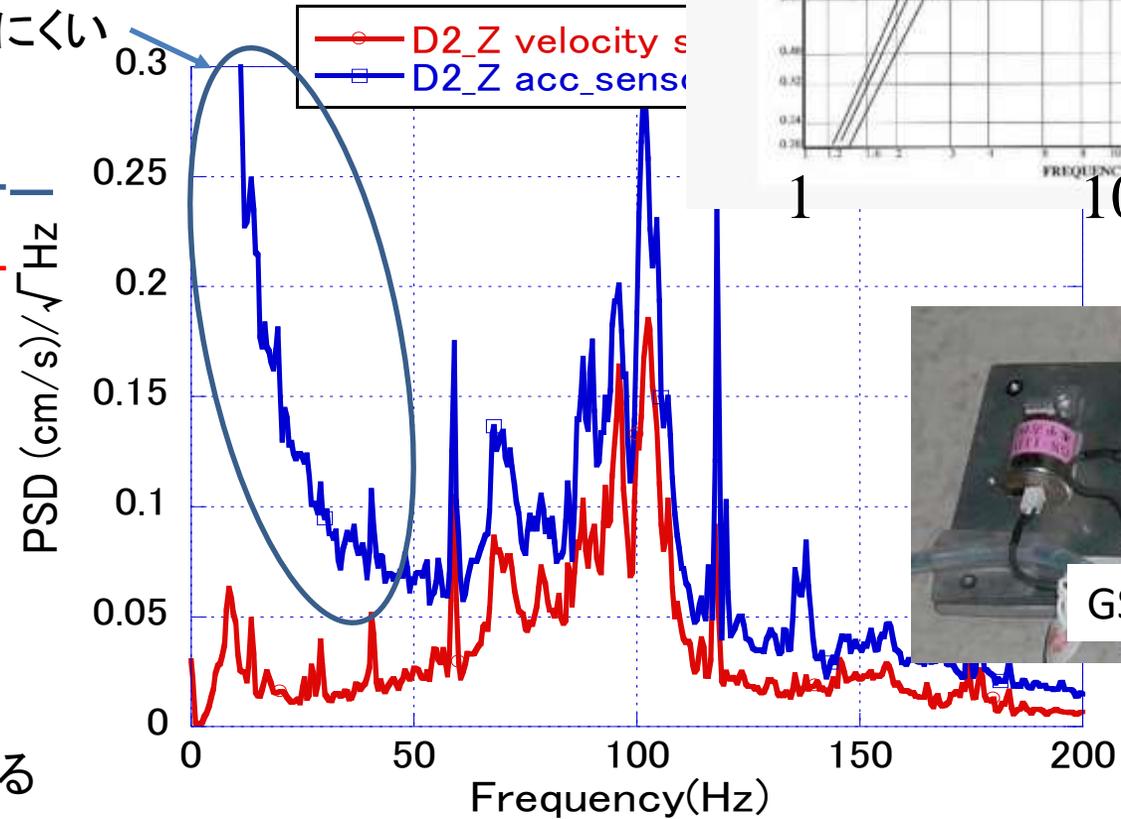
振動センサーの選択

加速度センサーか速度センサーか
サーボ型か動コイル型か

加速度(センサー)から速度に換算する場合:

スペクトルにしてから $2\pi f$ で割る
→低い周波数のところがわかりにくい
(バックグラウンドを引くことが必要)

青: 加速度センサー
赤: 速度センサー



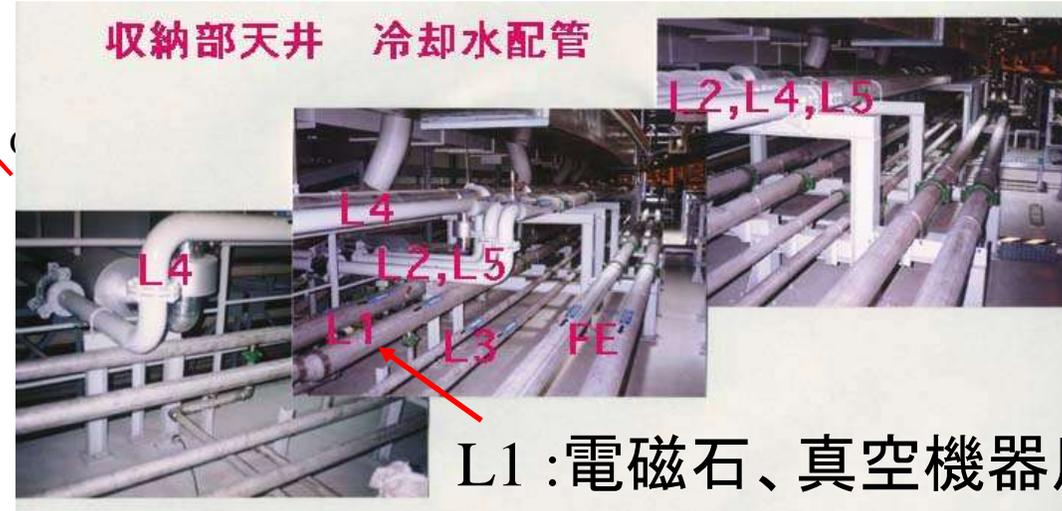
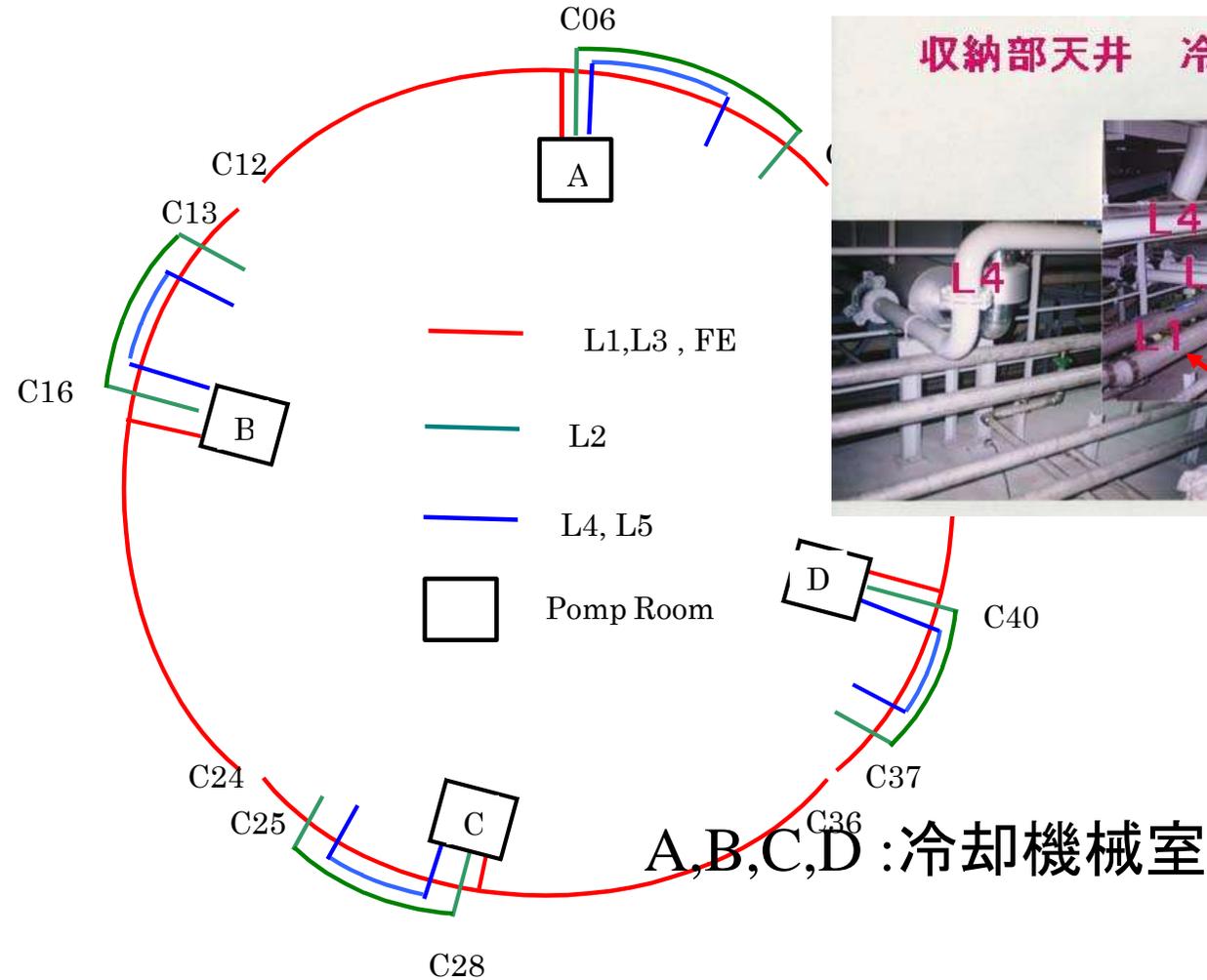
長い間VSE15D(速度・サーボ型)使ってきたが
現在はGS11D(速度・動コイル型)又はHS-1(速度・サーボ型 固有周期2Hz)使用.

- 1) 特性が安定
- 2) 低価格 GS-11D ~1万円
- 3) 見たい周波数 ~5Hz以上
- 4) 出力1V/(cm/s)=アンプなしで直接AD変換できる

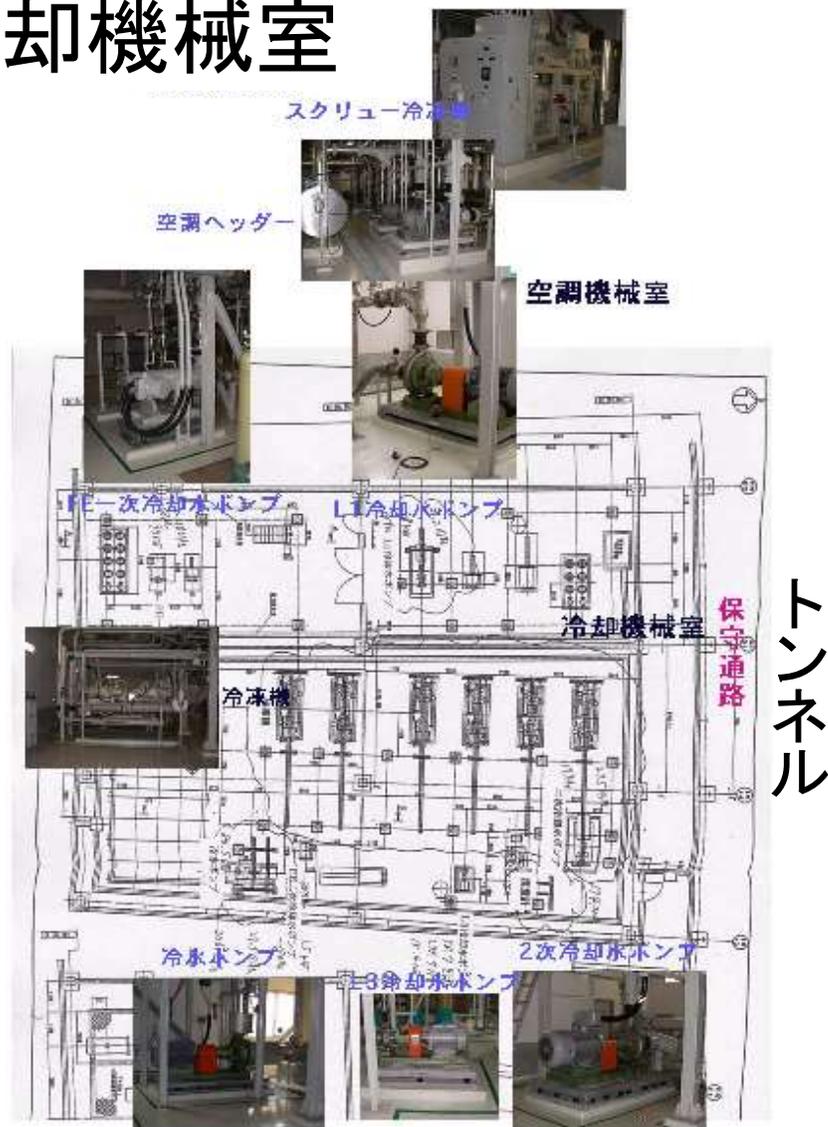
振動の伝搬 蓄積リングの場合

https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/MOOM/MOOM13.pdf

収納部天井冷却水配管



冷却機械室



冷却ポンプ

	2次冷却水	L1冷却水	FE1次冷却水
モーター出力(kW)	174	78	90
回転数	29.5	29.5	~30
羽根	6枚	6	6
周波数	177Hz	175	~180

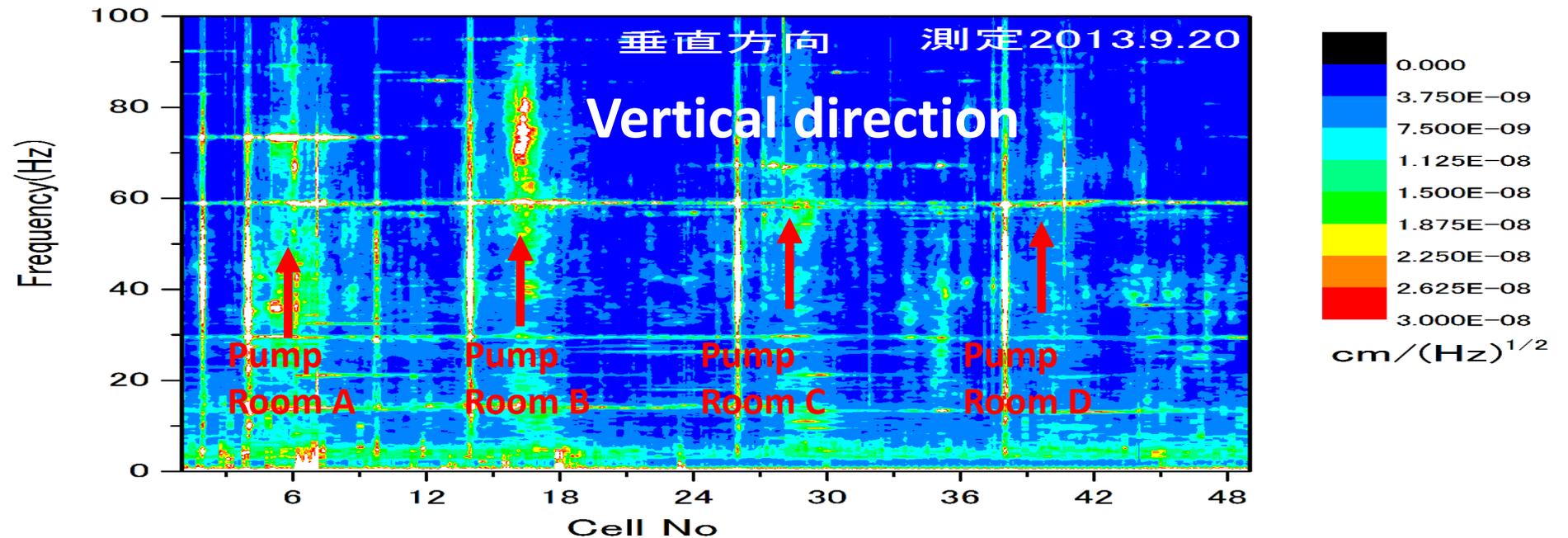
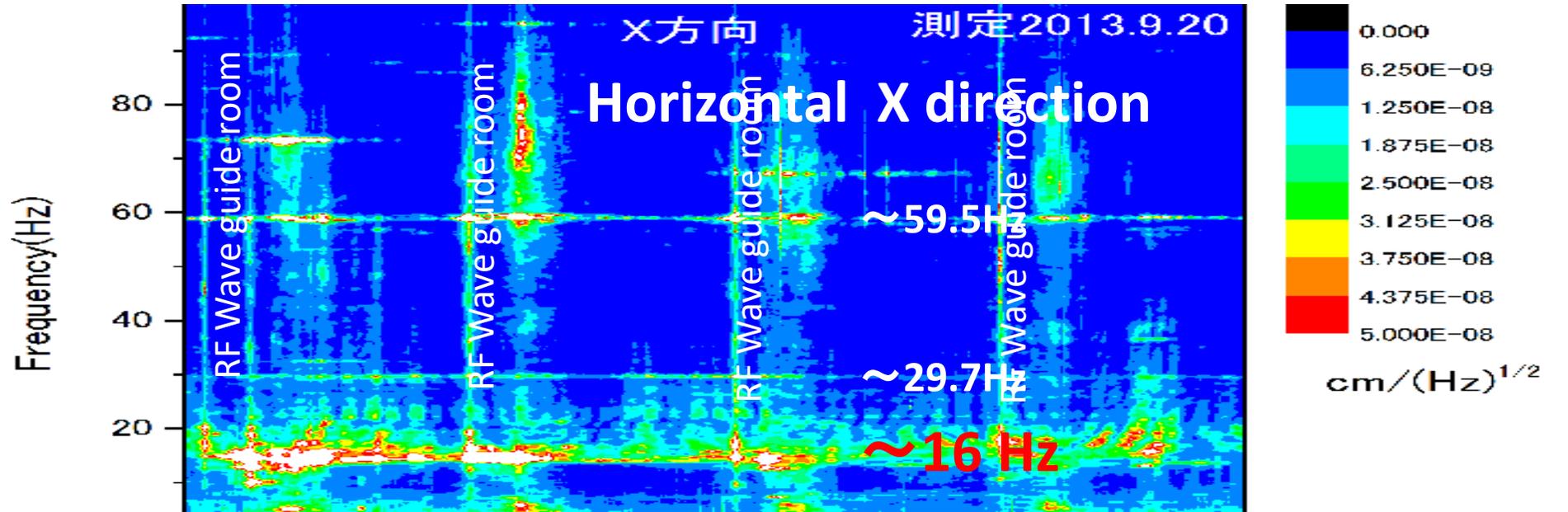
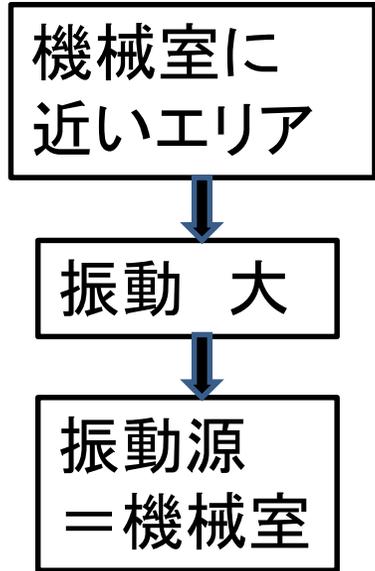


2次冷却水ポンプ

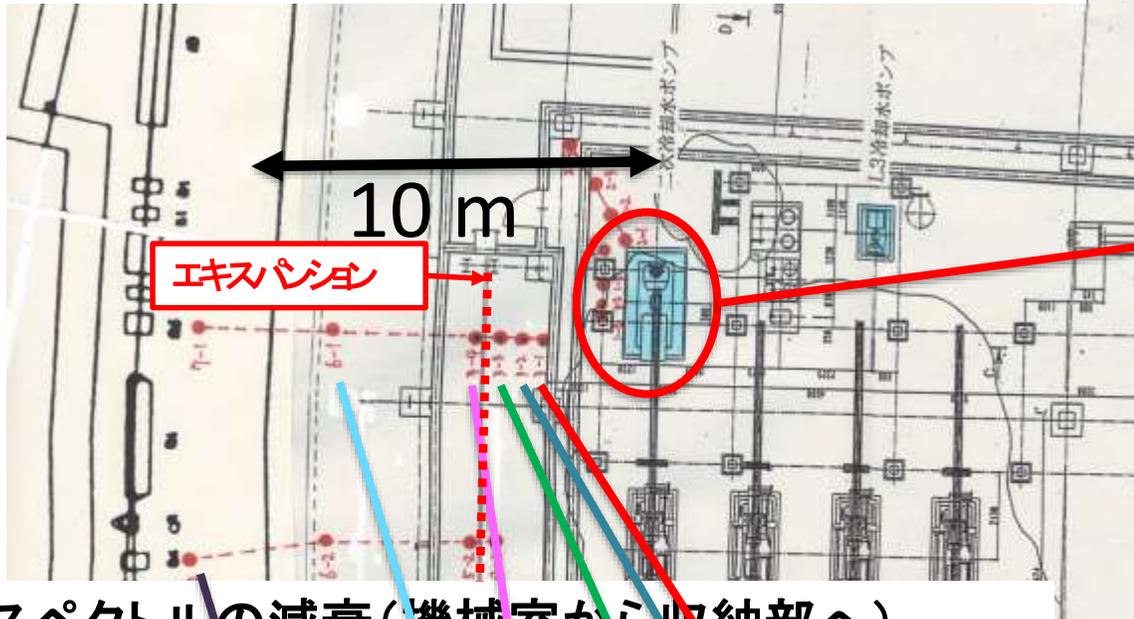


L1冷却水ポンプ

収納部床の振動(変位)

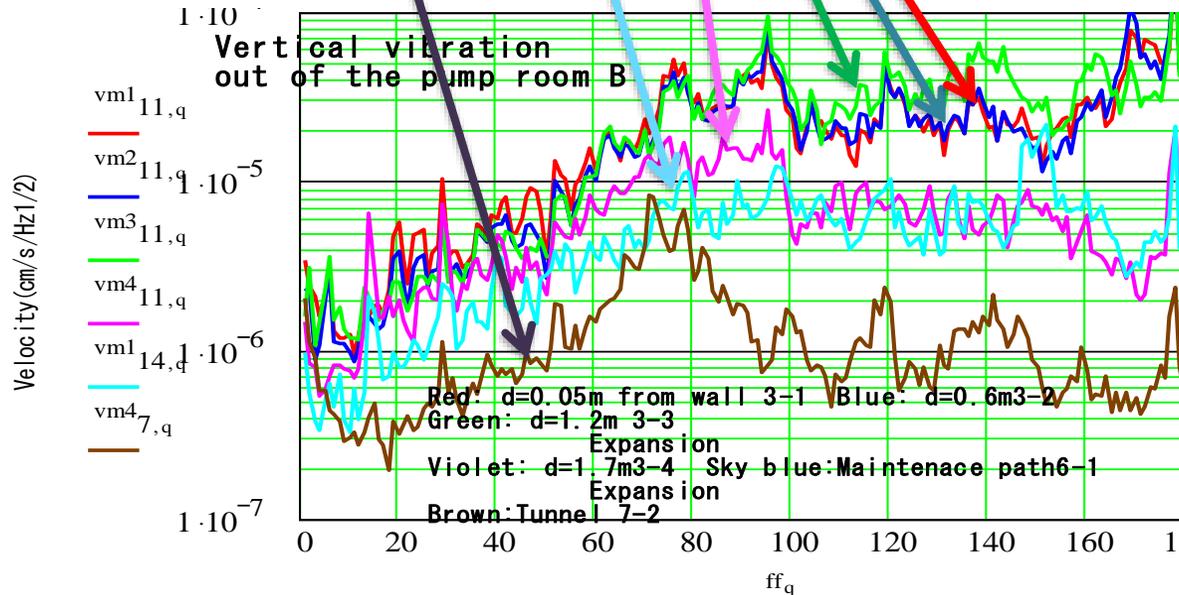


機械室から収納部までの振動

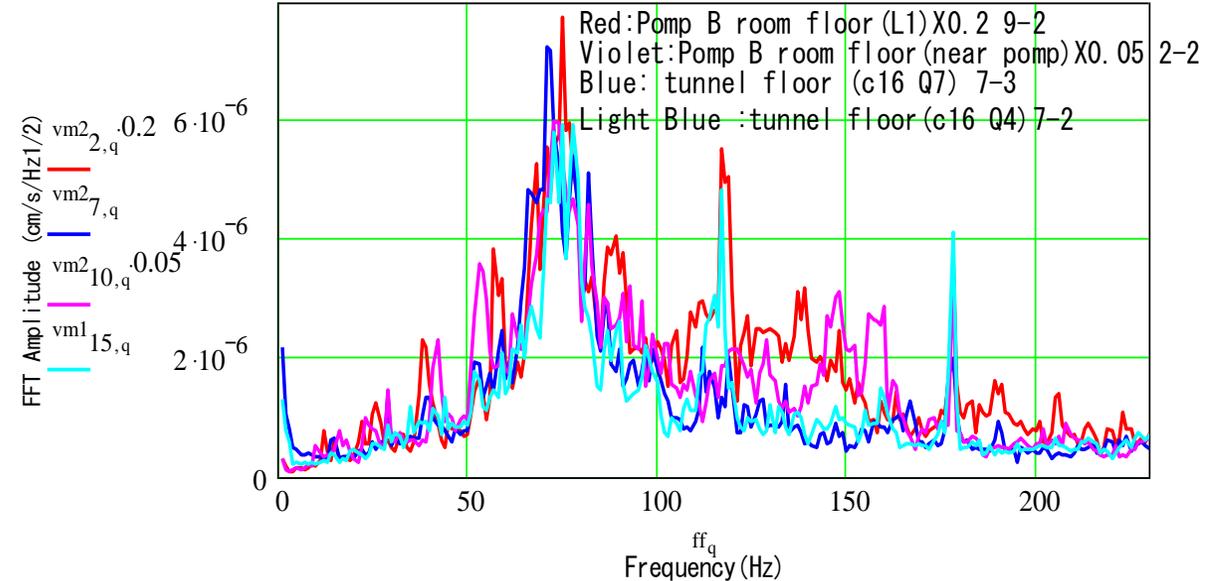


最も大きなポンプ

スペクトルの減衰（機械室から収納部へ）



スペクトルの相似性（機械室と収納部）



機械室から収納部への振動の伝搬経路は？

- 1) 床を伝搬
- 2) 冷却配管を伝搬

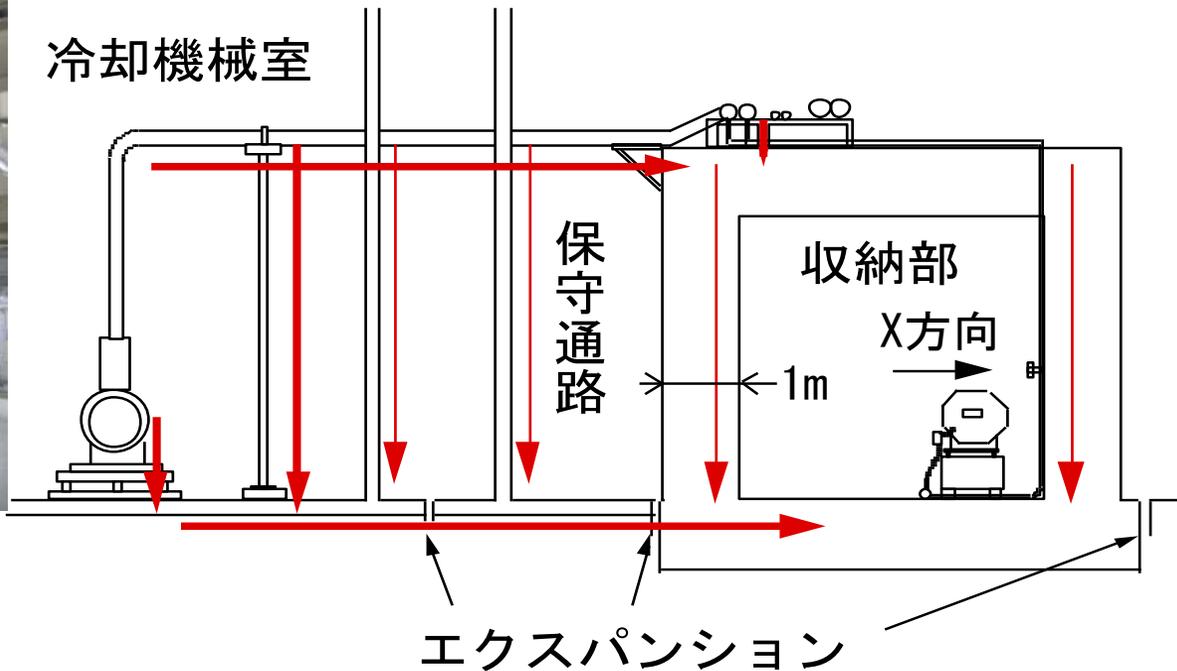


天井で上下流に分岐

下から見上げたパイプ



配管と支柱

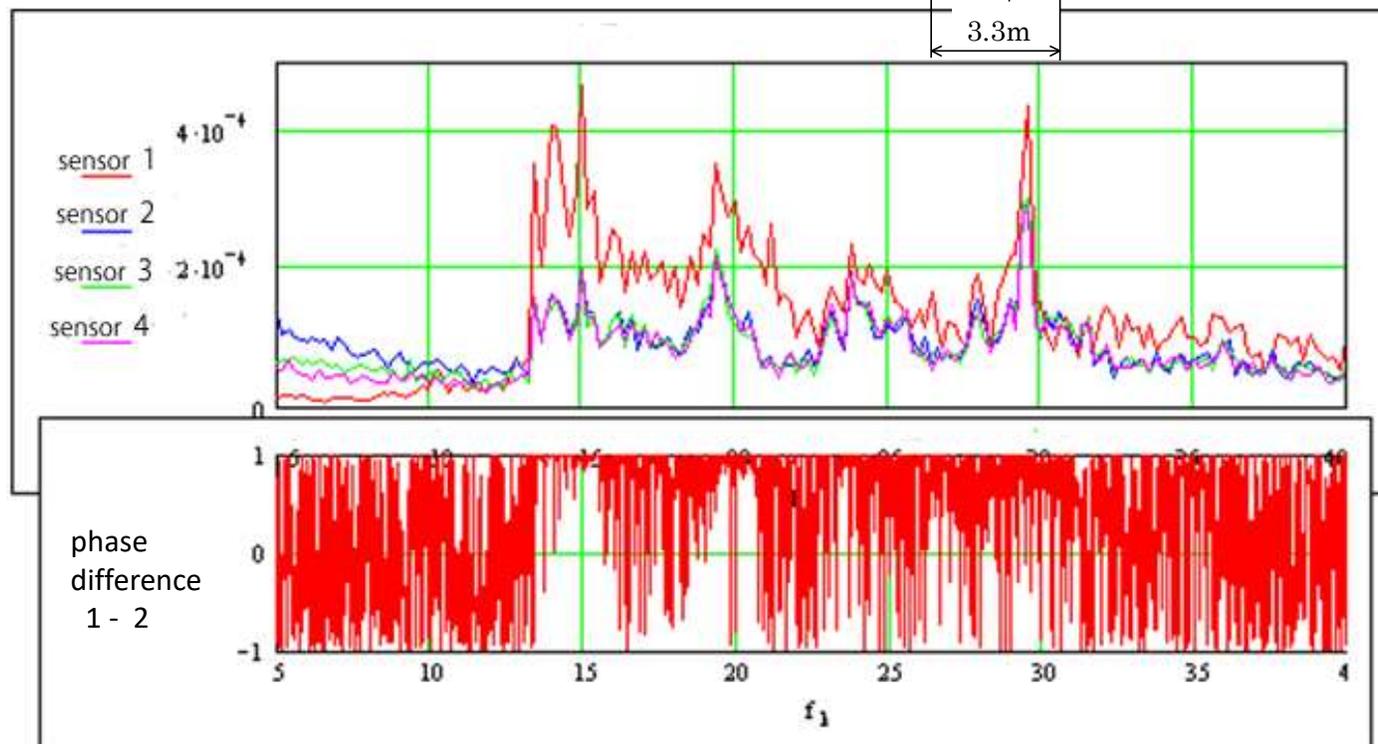
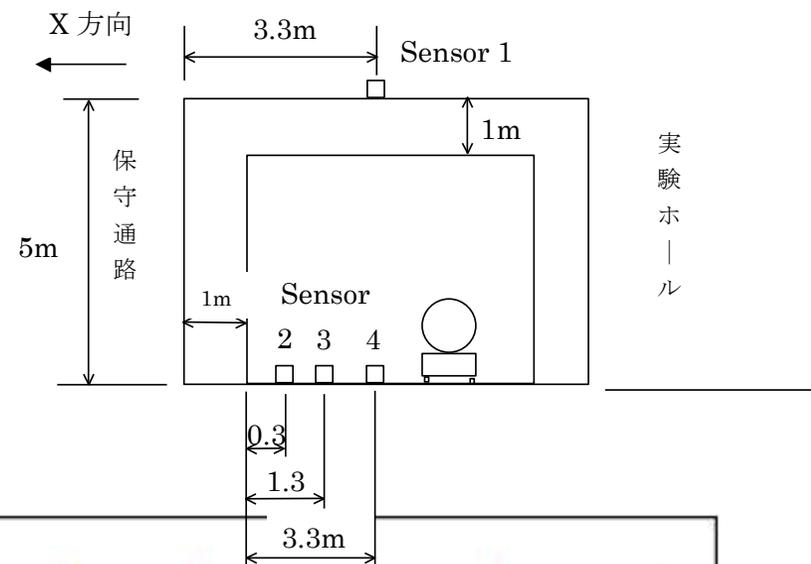


水平方向の振動(~15Hz) = 躯体の固有振動

水平振動は天井も
床も同位相で揺れ
ている

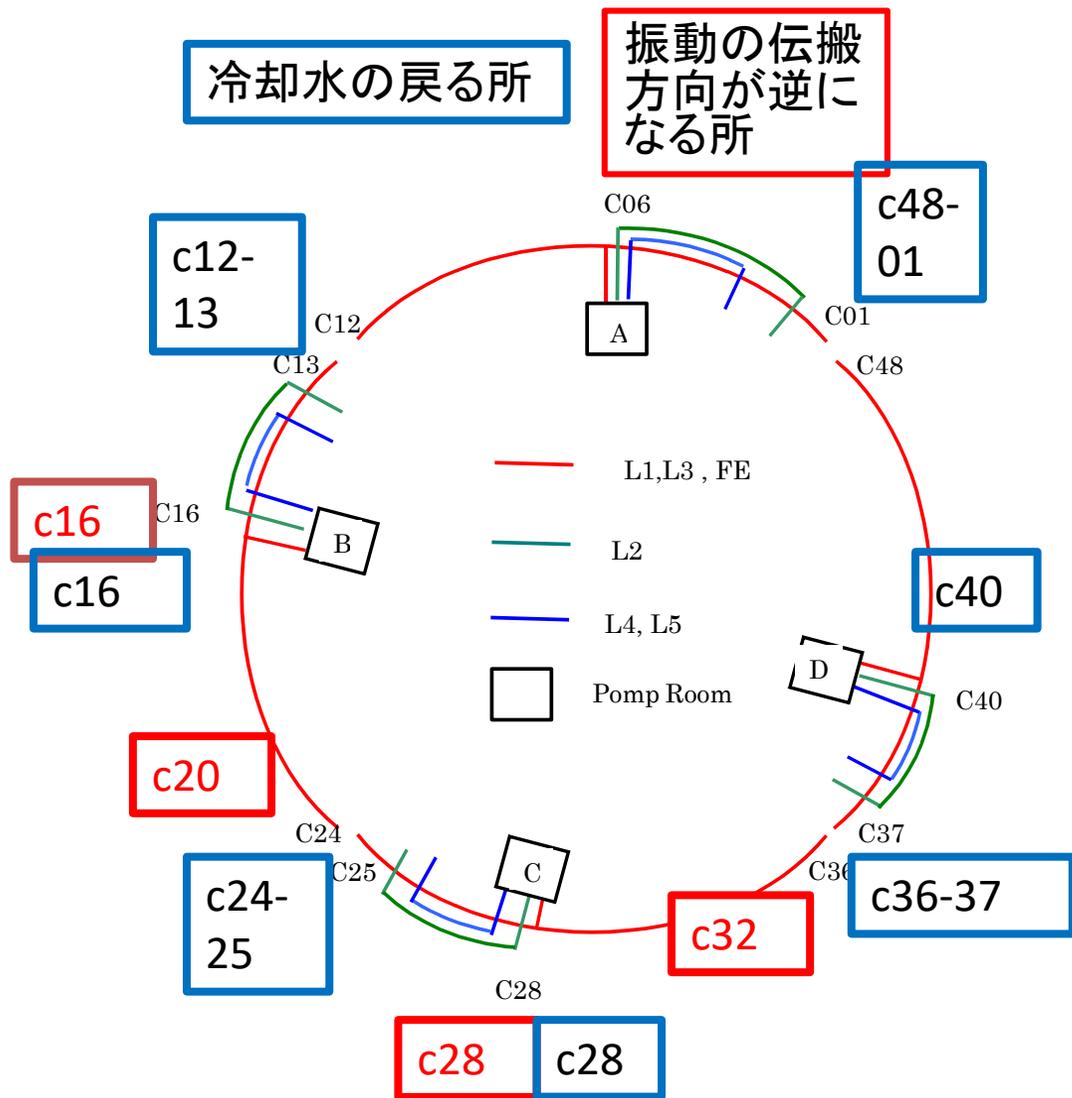
スペクトル
(速度)

位相差
1: 同方向
-1: 逆方向

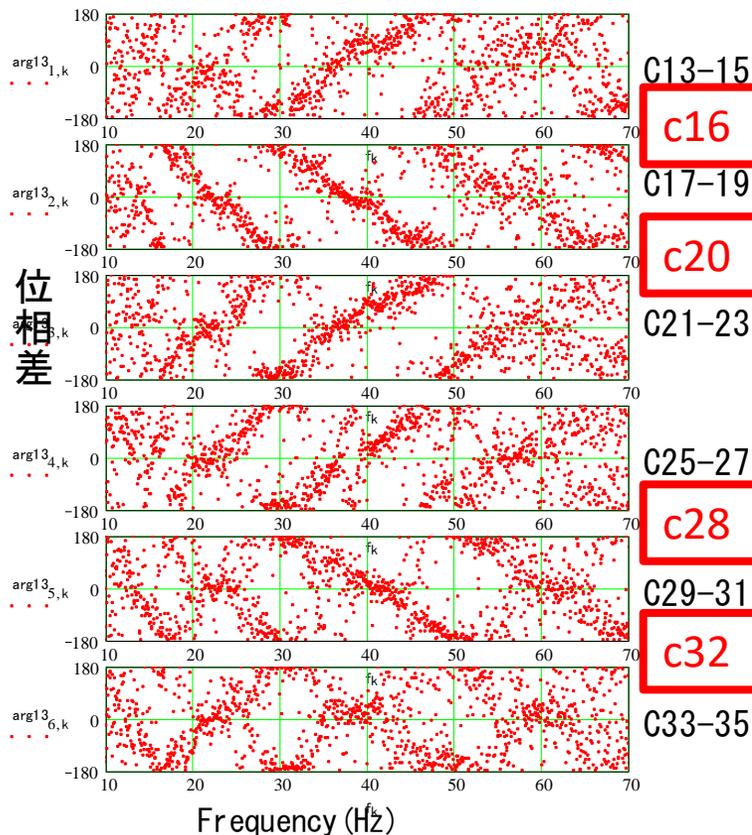


振動の伝搬方向と冷却水の流れ

天井に円に沿って振動計を置き伝搬の向きを調べた。



位相差(apt 60m)



伝搬速度 $\sim 1200\text{m/s}$

振動の伝搬が逆向きになる所は冷却水が戻る所ではなく、機械室の所と機械室間の中間の所のように見える

冷却水による伝搬は主ではない

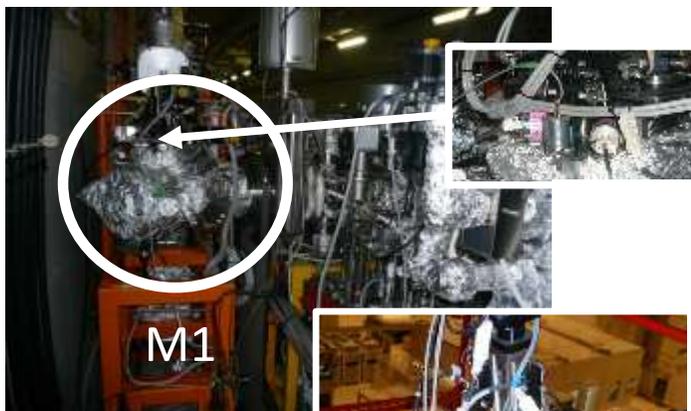
床の伝搬が支配的

コヒーレンシ測定

放射光はどのミラーで
ゆすられているのか？

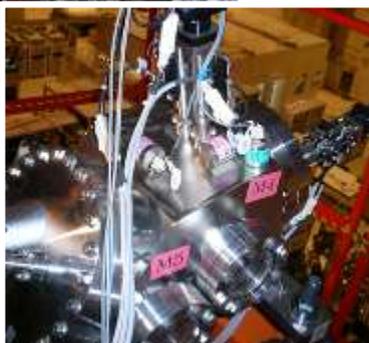
(Beam Line 43IR)

ミラーM1, M3~M7



M1

ミラーM4, M5



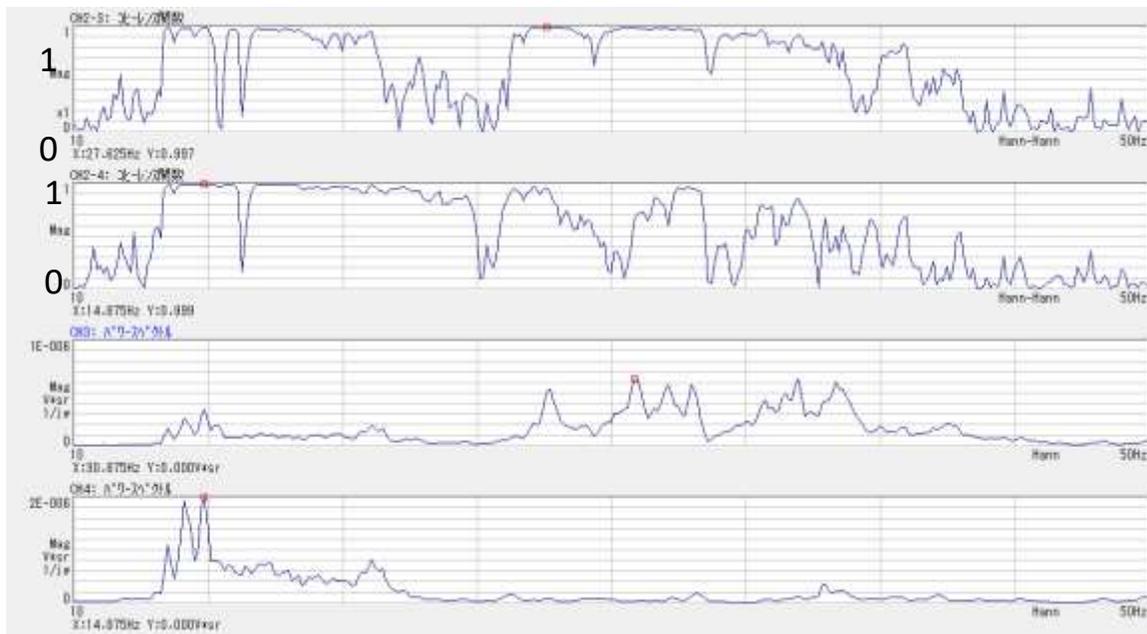
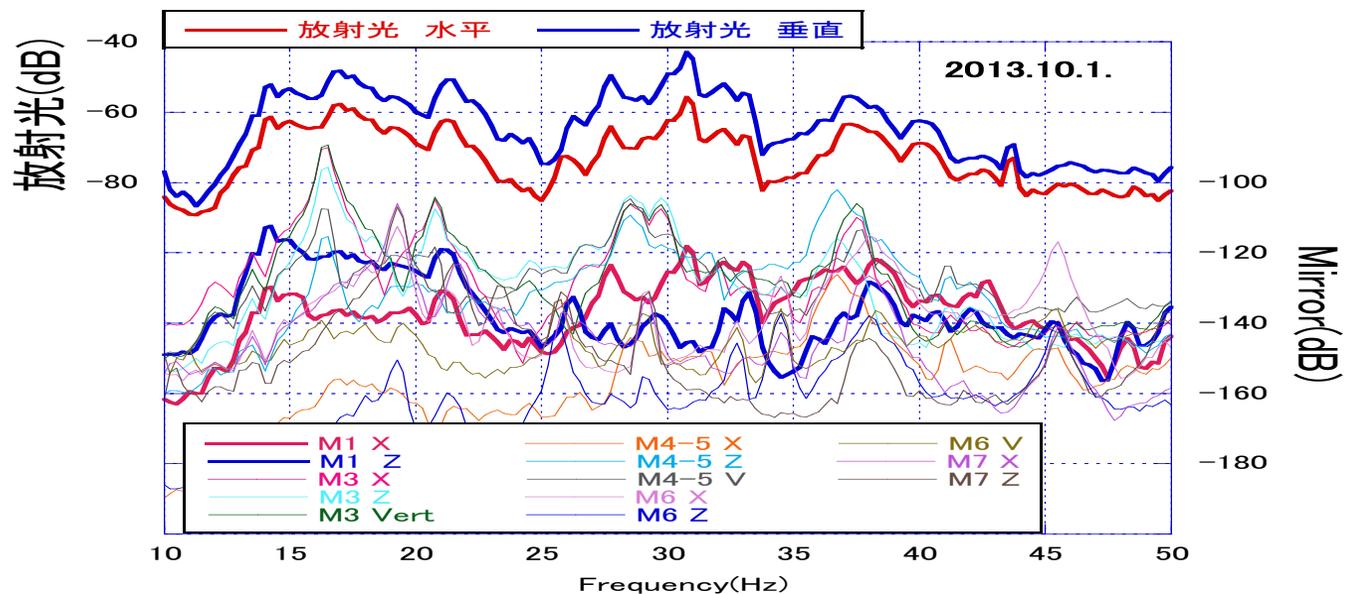
放射光(水平) —
M1(水平)

放射光(垂直) —
M1(垂直)

M1スペクトル(水平)

M1スペクトル(垂直)

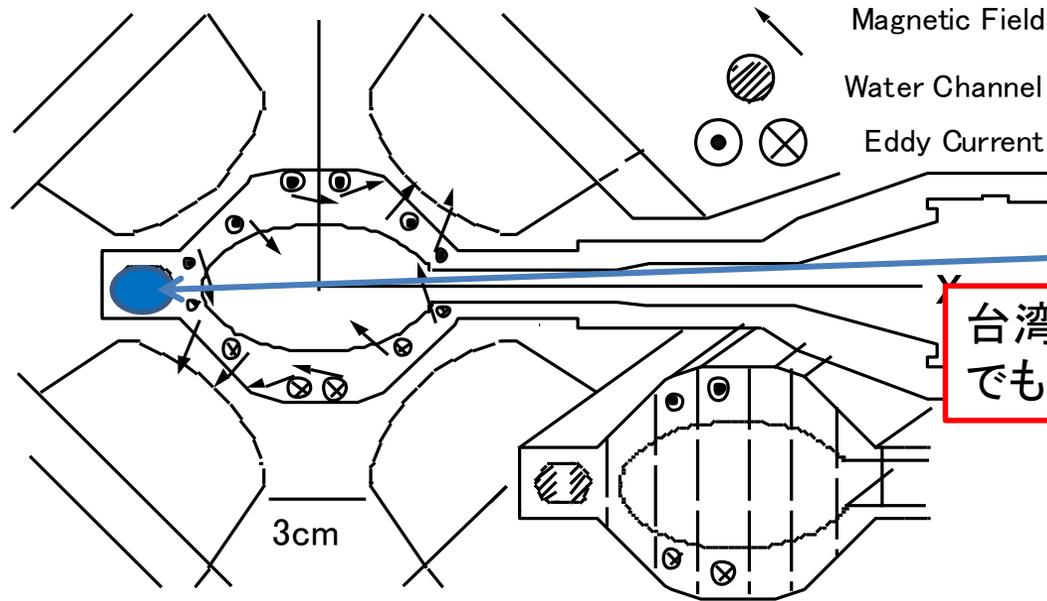
放射光とミラーの振動スペクトル



なぜ真空チャンバーの振動が重要なのか

4極磁場中のアルミチャンバーの振動により発生する磁場

チャンバーの振動 $1\mu\text{m}$ (20~200Hz)
= 磁石の振動 $0.5\sim 1\mu\text{m}$

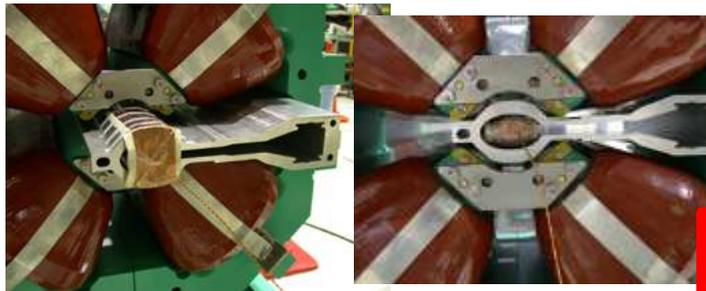
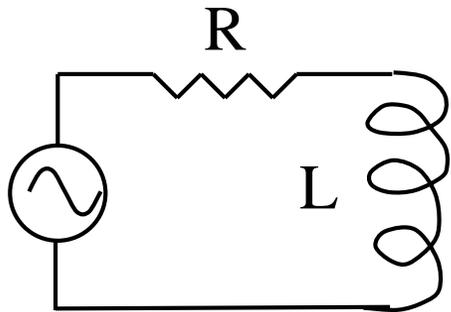


詳細はJJAP
42(2003)L338

冷却水

台湾の放射光施設
でも問題になった

- g: 4極磁場の強さ
- d: 振動振幅
- ω : 振動角速度
- R: 実抵抗
- L: インダクタンス

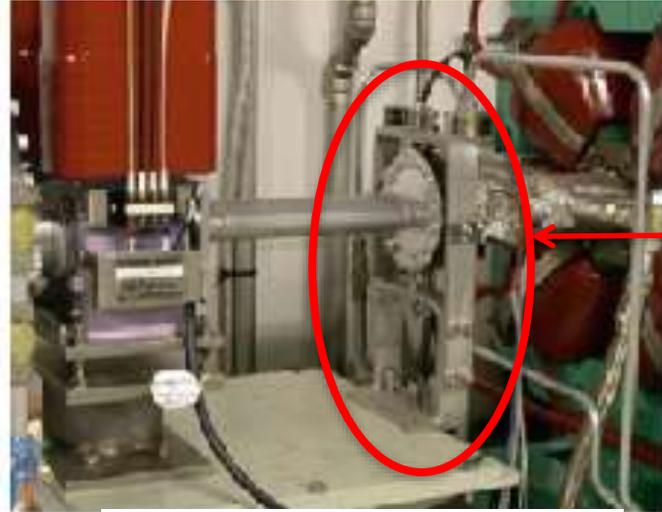


L: 実験的に求めた

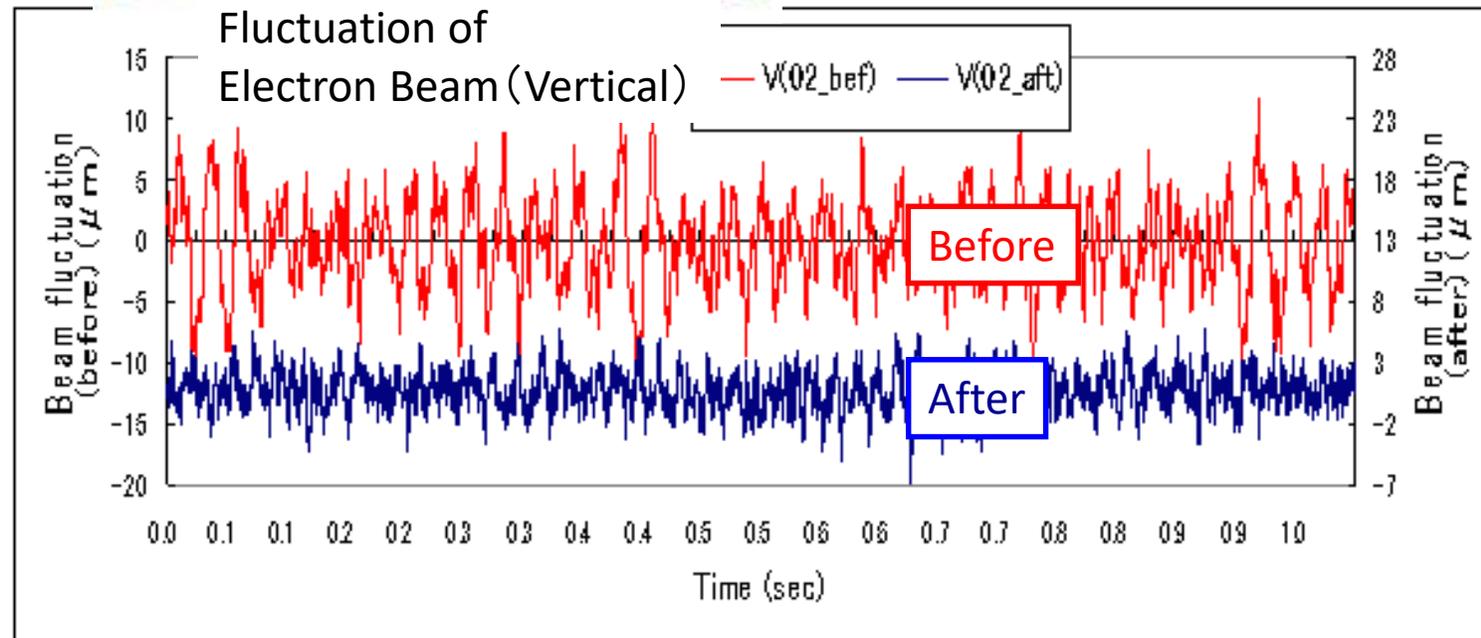
$$B'_X = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2}} g d \sin(\omega t)$$

$B'_X = g d \sin(\omega t)$ $R \ll \omega L$ **AIの厚さが厚い、周波数が高い領域**

振動しやすいチャンバーの固定



棒をつけて固定

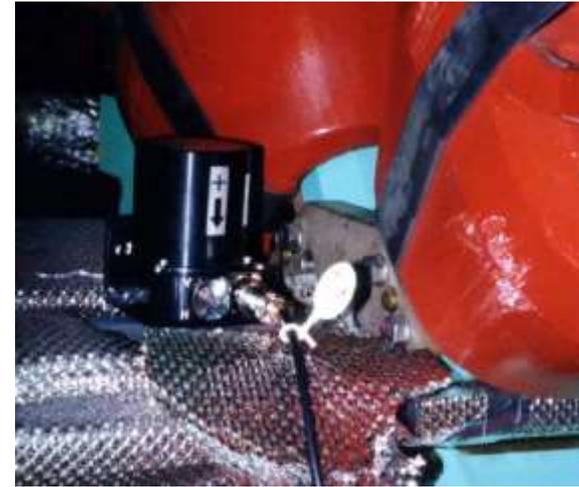


冷却水を開閉し、チャンバーの振動測定

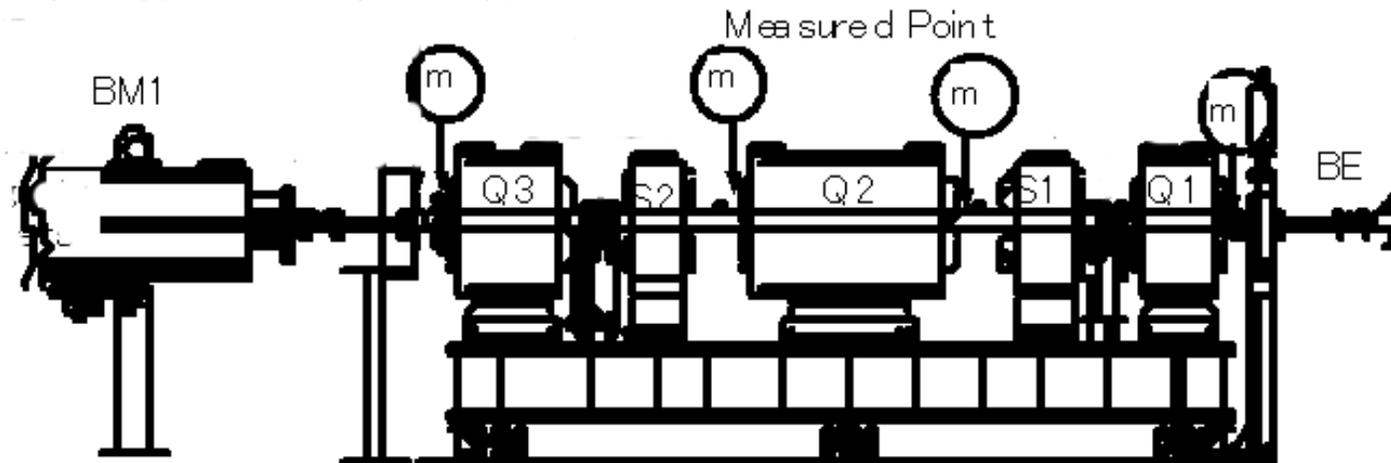


真空入 磁石入 磁石出 真空出

4つの
バルブ

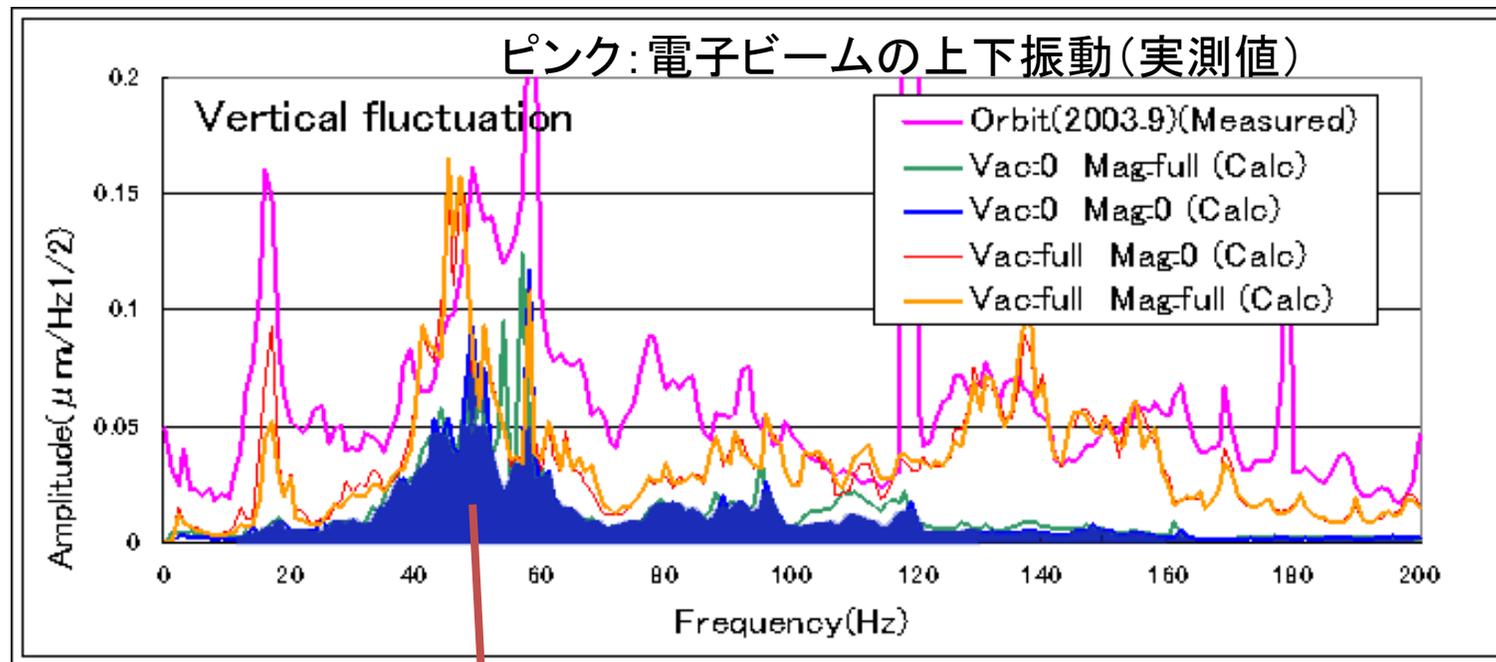


全架台144中19架台測定



チャンバーの上下振動と冷却水

オレンジ: 架台上の電磁石、真空機器 冷却水通水時
青: 架台上の電磁石、真空機器 冷却水停止時



青 = 床からくる振動

2003.8.測定

バルブを閉じても半分の振動は残る

19/144 girders average

XFEL建設時の加速管などの振動テーマ

1. 研削面とシム固定の差
2. 設計変更時の水平方向振動振幅の推定→省略
3. コンクリートの研削面 荒仕上でもOKか
4. 実機振動測定結果
加速管、Qmag
5. 石架台

振動を用いて評価するテーマ
がいくつもあった。

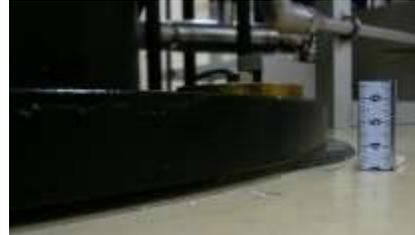
https://www.pasj.jp/web_publish/pasj9/proceedings/PDF/FRUH/FRUH17.pdf

架台接地面 (研削面か塗装面+シム) の比較

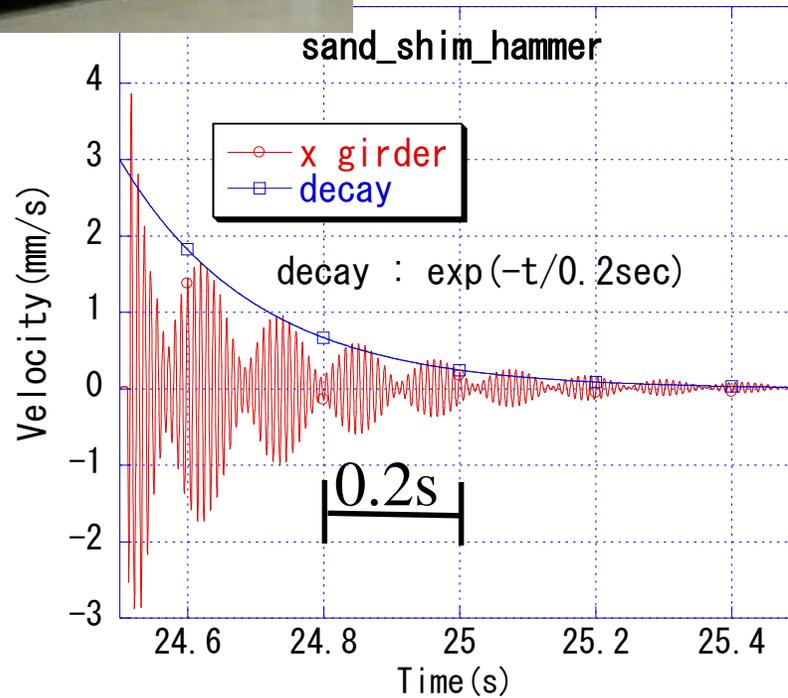
減衰時間で比較



塗装面 シム固定

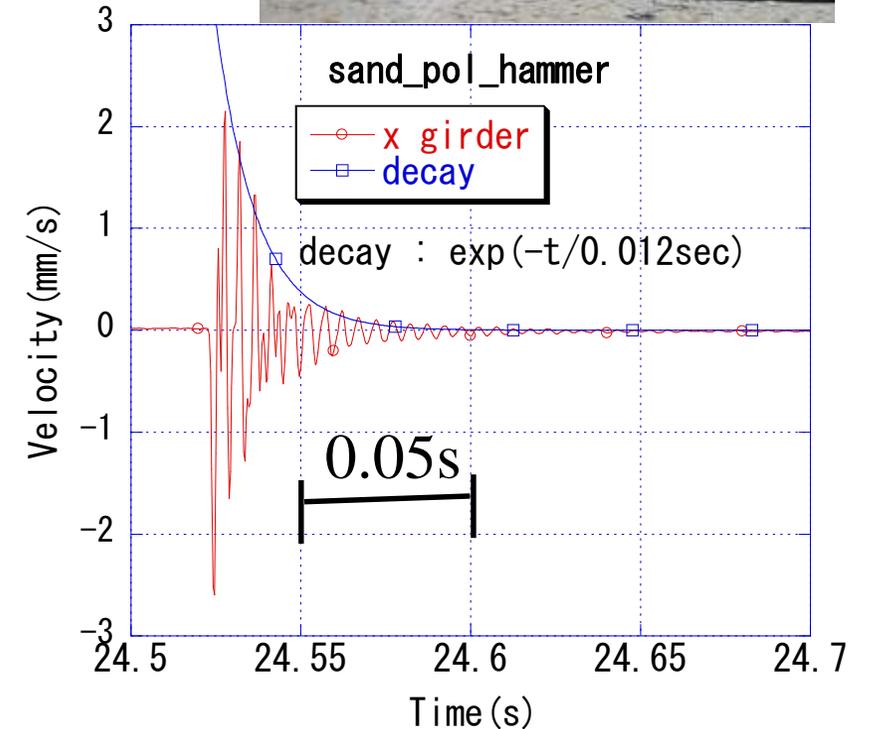


弓なり形状シム
厚さ0.2~0.5mm
重ねて使用



時定数: 0.2秒

研削面 シムなし

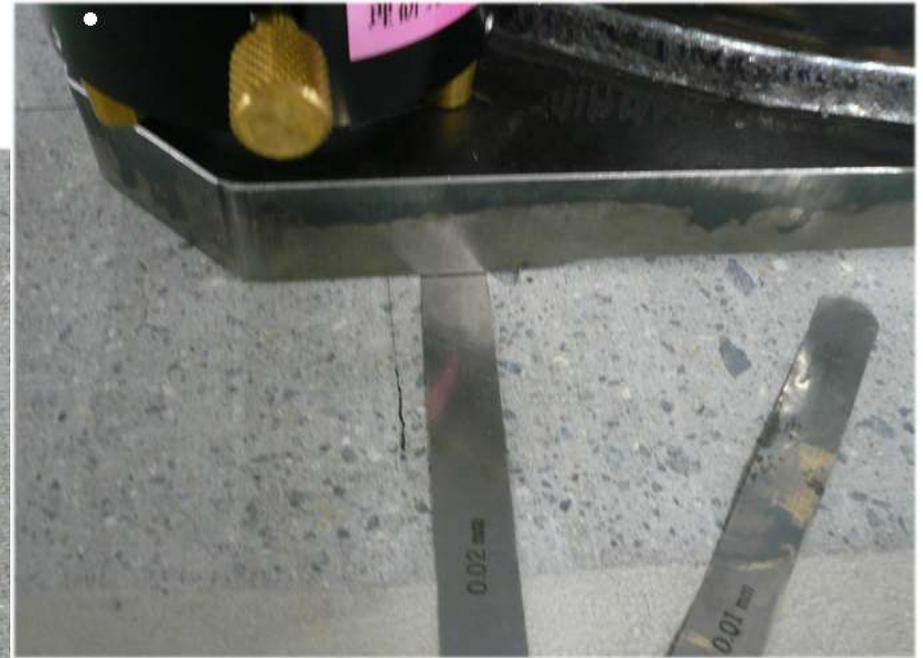


時定数: 0.012秒

荒仕上の削りでも大丈夫か



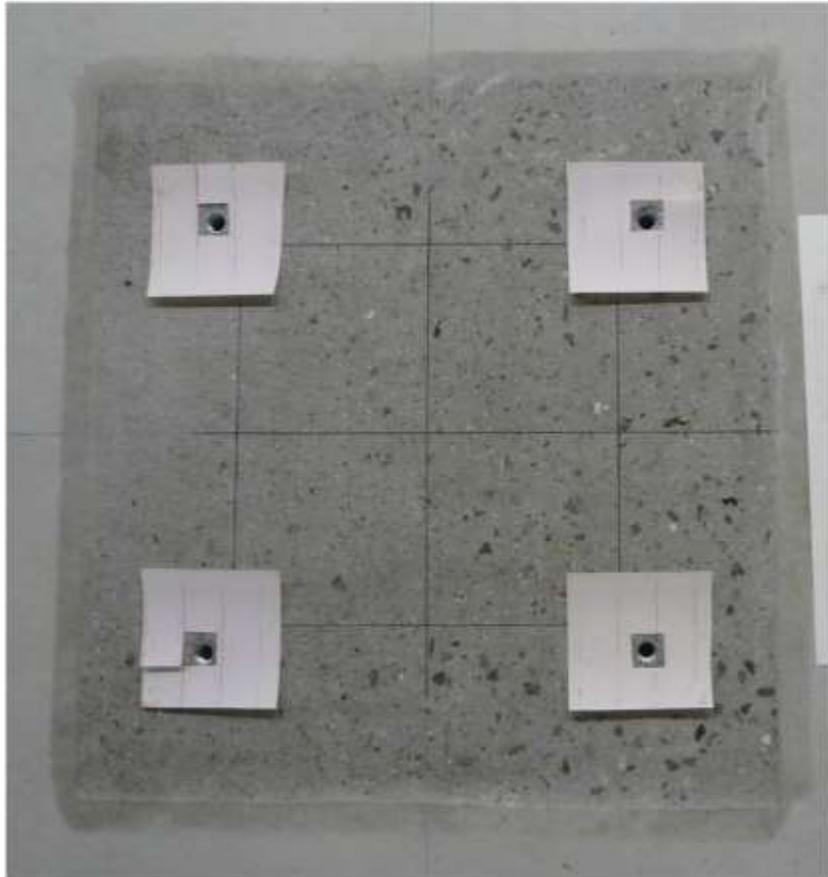
「超荒仕上げ」の場合 筋が見える
0.03mmの隙間ゲージが入る



(株)原マシナリー製

感圧紙を用いた接触面の調査

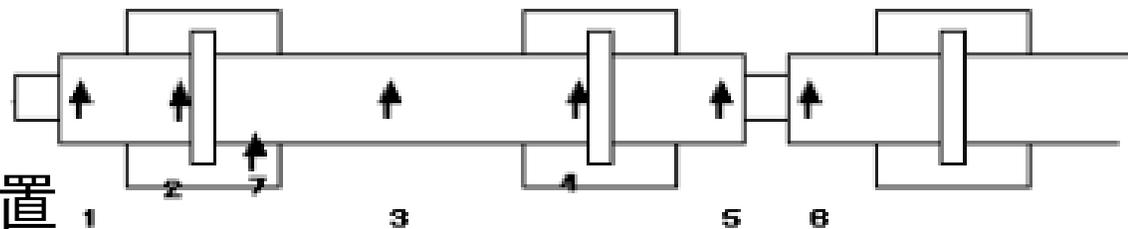
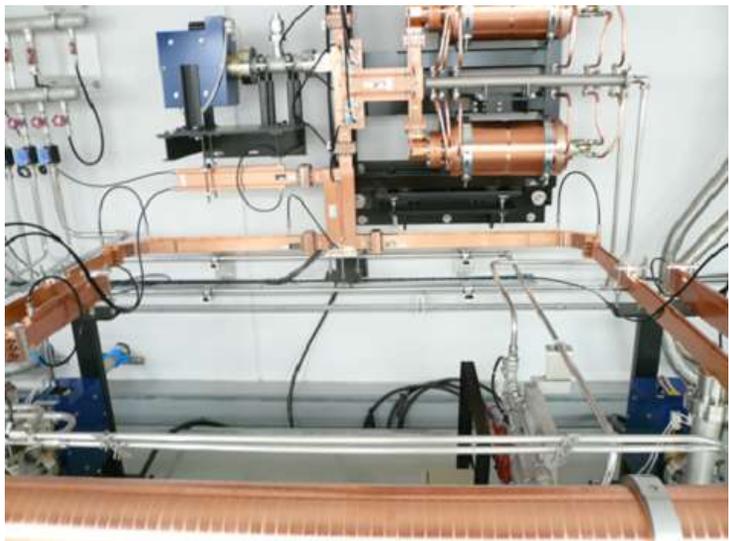
架台を外した後 刃の送り間隔 25mm



35N・mで締める

実機の測定結果

冷却水配管は床、壁にできるだけ固定



センサー位置

変位波形(速度波形を1回積分したもの)

水平(X方向)

垂直

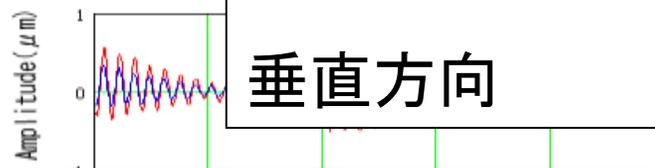
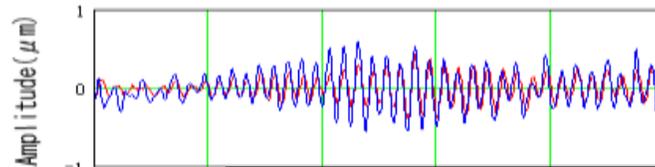
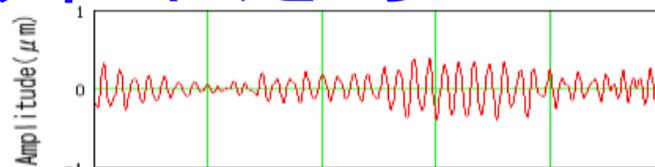
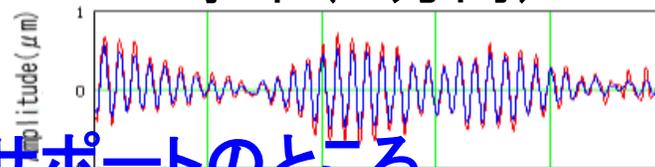
ch1
ch2

Ch2サポートのところ

ch3

ch4
ch5

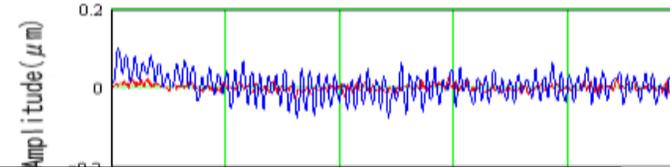
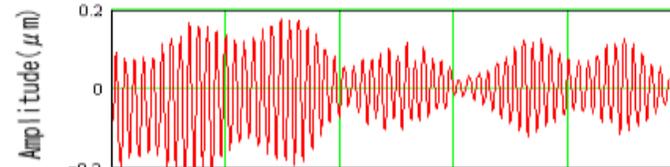
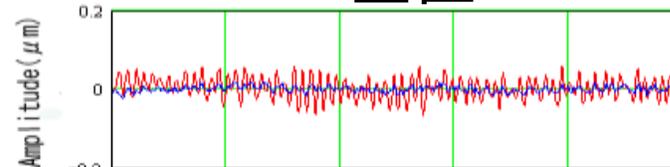
ch2
ch7



ch1
ch2

ch3

ch4
ch5



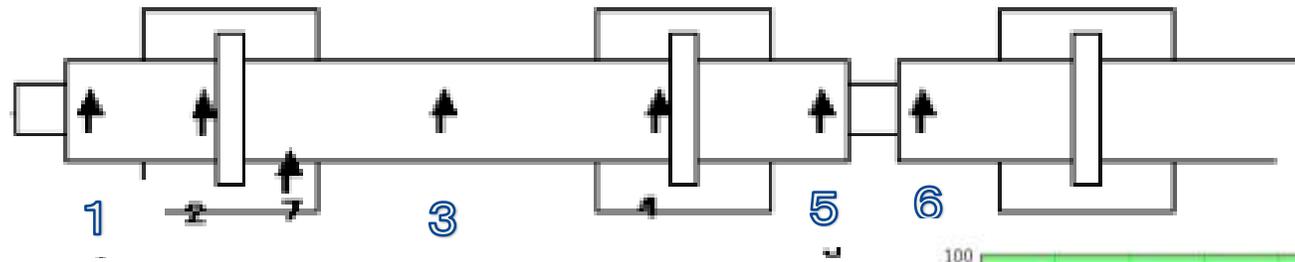
水平方向 サポートが節にはなっていない

垂直方向

節になっている

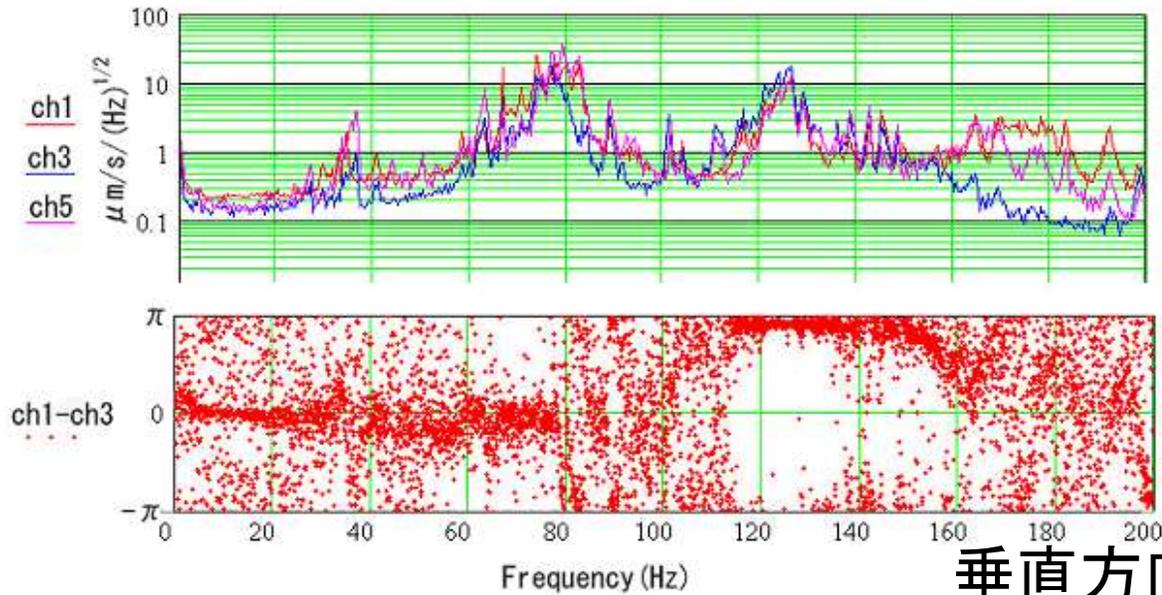
各振動のスペクトルと位相

隣の加速管との位相差
同相だとキックがキャンセルされるが

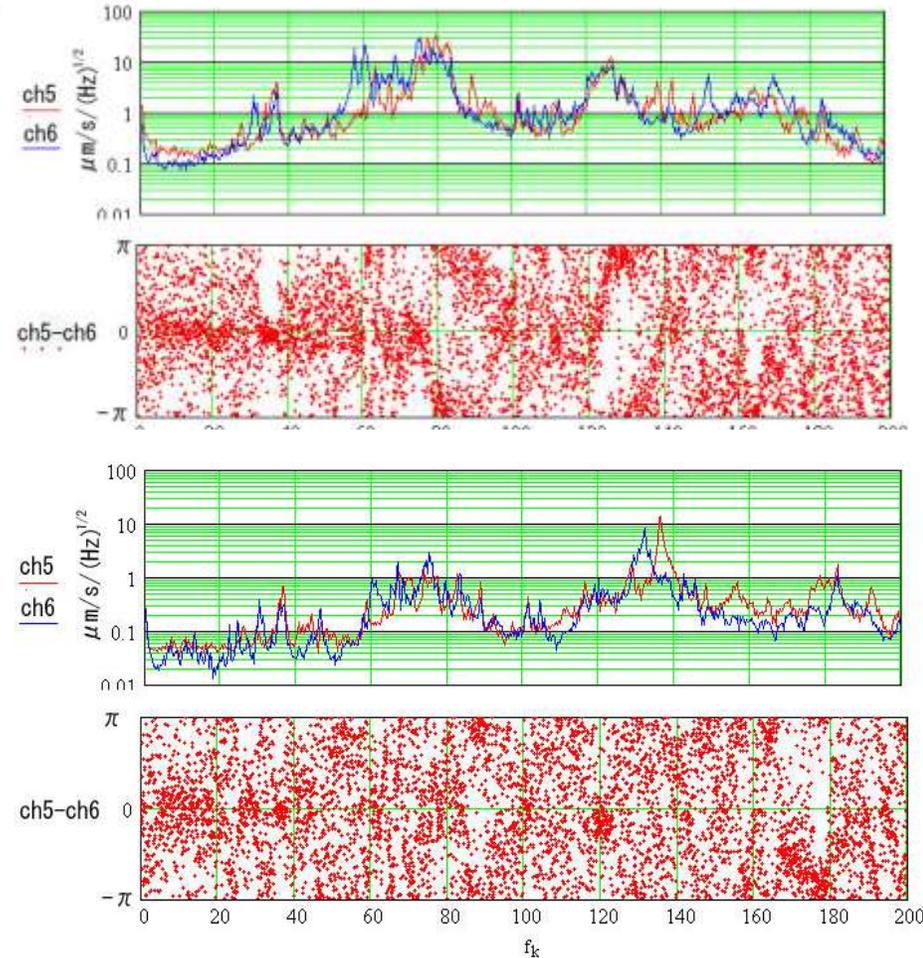


水平X方向

X方向



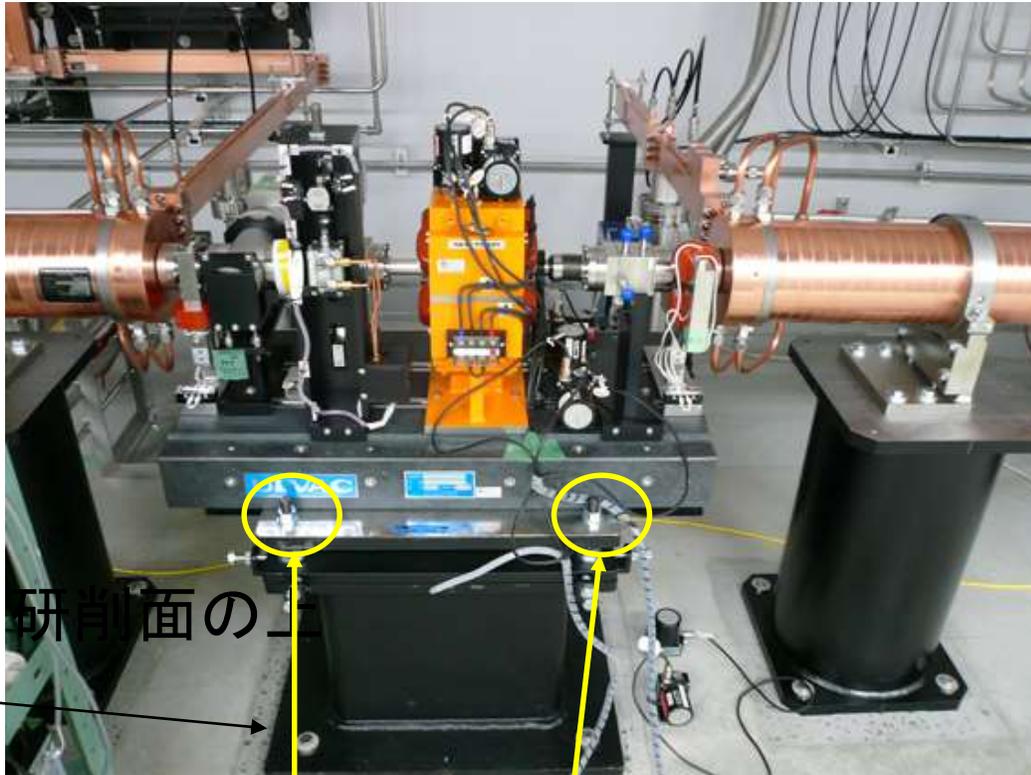
垂直方向



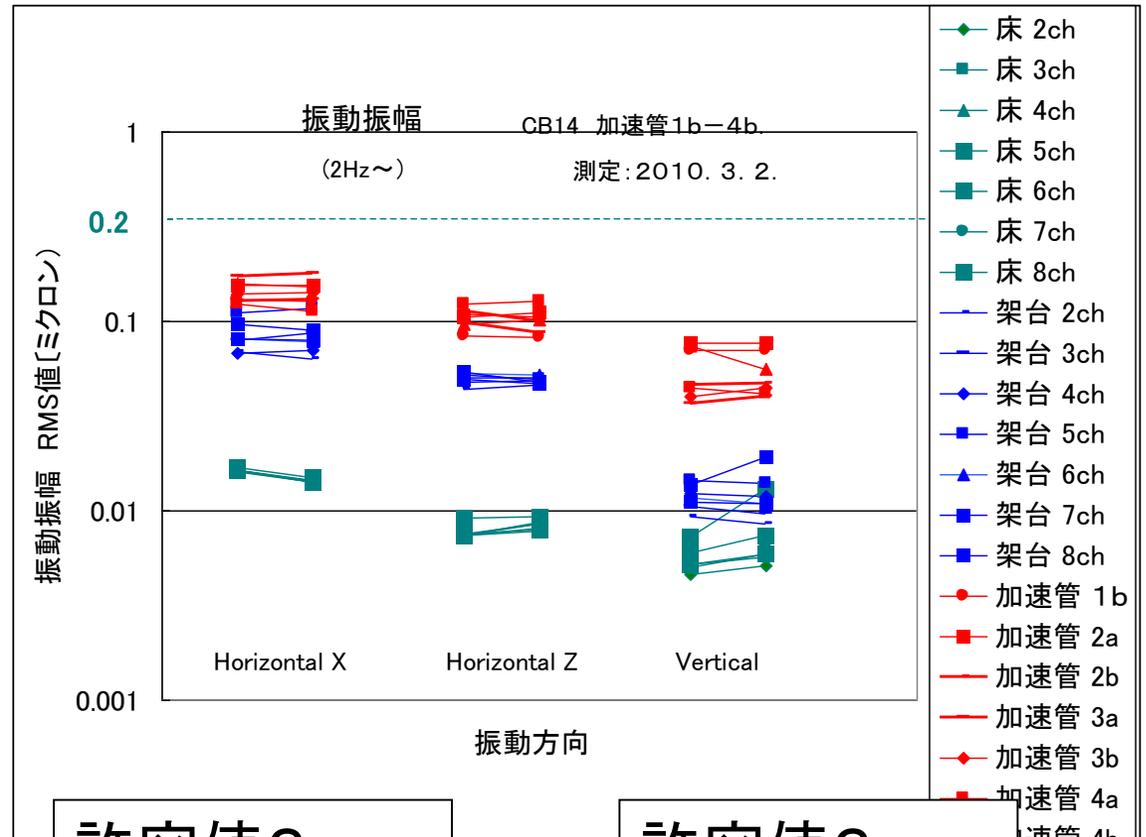
Qmag振動

Qmag : 空冷=振動源なし

隣の加速管との間:ベロー



架台: 研前面の上



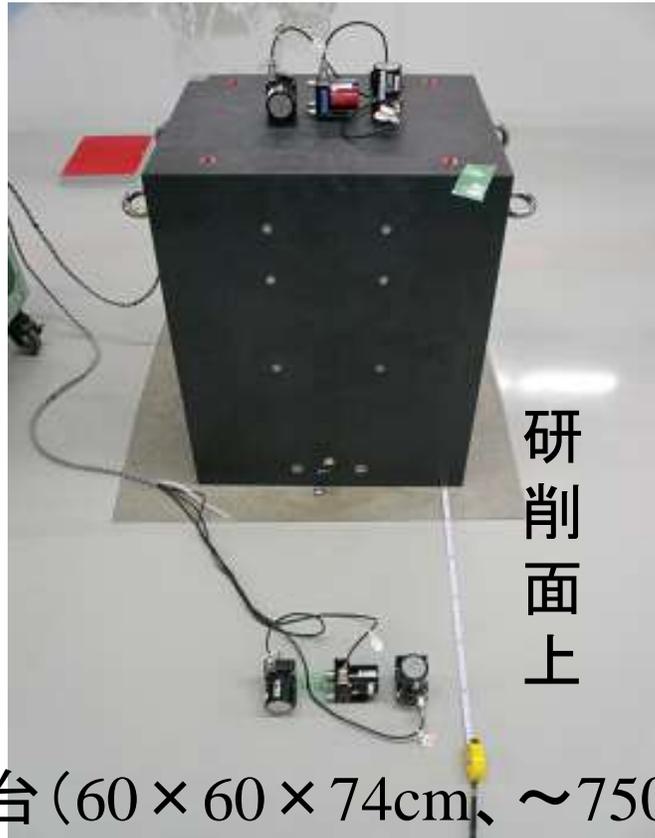
許容値 $2\mu\text{m}$

許容値 $2\mu\text{m}$

問題なし

4本の長さ~5cmのM16のボルトで上の石定盤、Qmag,BPMらを支えている

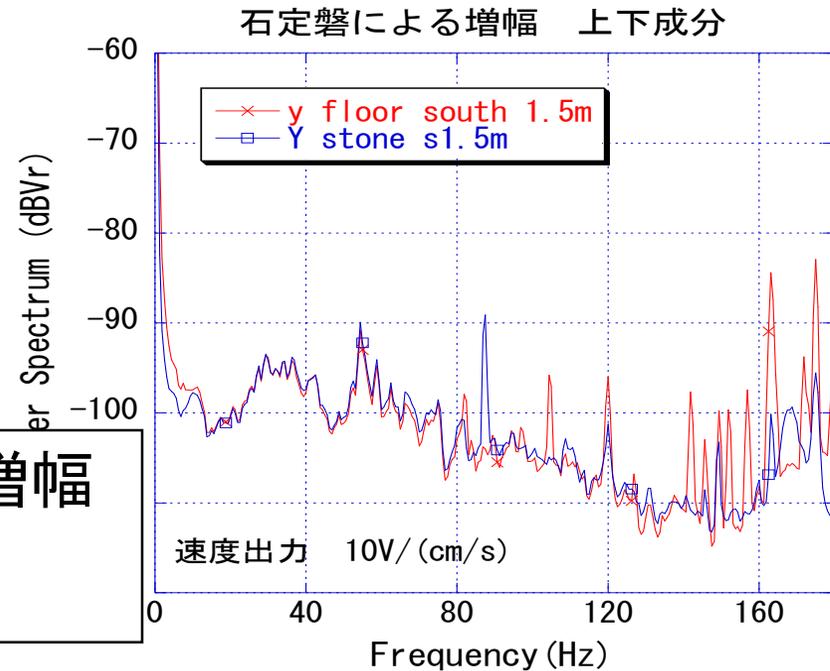
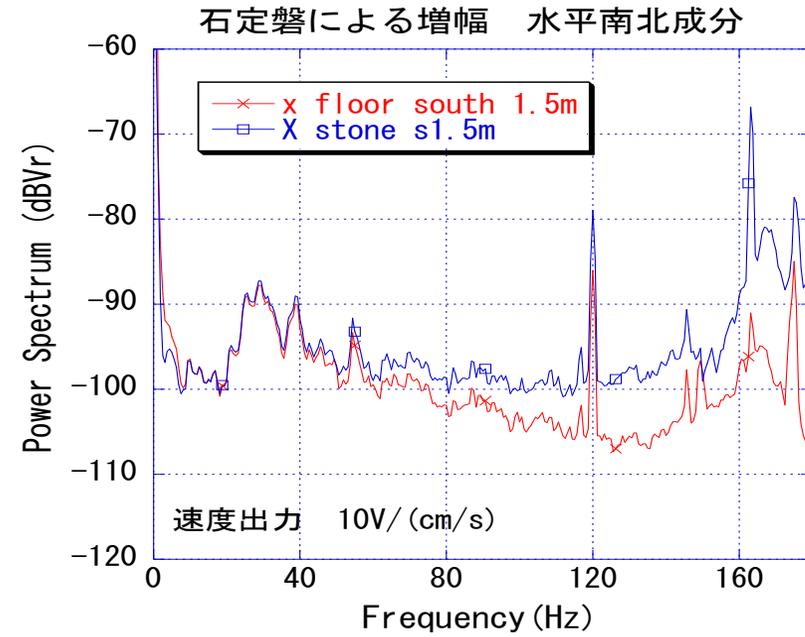
光源棟 研削面上石基台による 振動増幅 (Q,BPM用架台部)



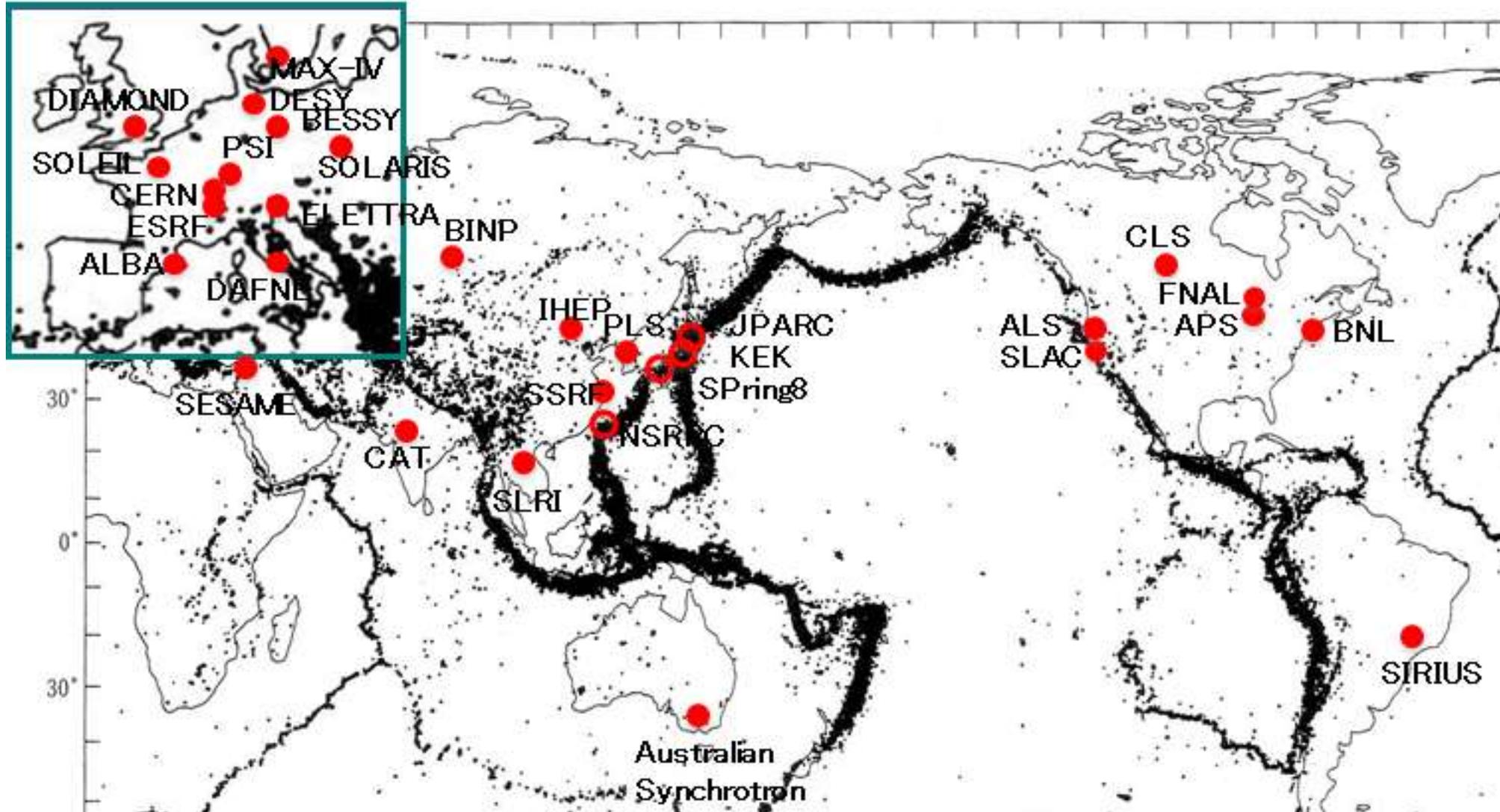
石基台 (60 × 60 × 74cm、~750kg)

水平方向 120Hz付近 5dB程度増幅

垂直方向 増幅なし



地震分布と加速器



3. 加速器アライメント国際会議 (IWAA)

(International Workshop on Accelerator Alignment)

- ・加速器のアライメントに特化
- ・第1回 1989年 SLACで開催 2年に一度 ヨーロッパ、アメリカ、アジアで
回り持ち
- ・日本で開催 KEK2回(1995, 2008) SPring-8 1回(2002)
- ・人数 ~100
- ・今回 CERN 10/31~11/4

[IWAA 2022, CERN \(31 October 2022 - 4 November 2022\): Overview · Indico](#)

- ・世界の加速器のアライメント(技術)を俯瞰できる。
技術的にもこれ以上のところに行っていない などわかる。
- ・過去のプロシーディングスを見ることができるサイトがslacに置いてある。[Past Conferences | International Workshop on Accelerator Alignment \(stanford.edu\)](#)
- ・委員 現在9人(ヨーロッパ3、アメリカ3、日本2、中国1)



IWAA 2022, CERN

31 October 2022 to 4 November 2022
Appart'City Hotel
Europe/Zurich timezone



バンケット 姫路キャッスルホテル



- Overview
- Organising Committee
- Scientific Programme
- Paper and Poster Guidelines
- Timetable
- Contribution List
- Author List
- Speaker List
- Exhibitor Registration and Information
- Payment
- Current political situation with Russian Federation and Belarus
- COVID-19
- Arrival
- VISA Information
- Registration

International Workshops on Accelerator Alignment (IWAA) are normally held every two years at particle accelerator laboratories around the world. They are devoted to large scale and high precision positioning of particle accelerators and physics experiments, focusing on the exchange of information between geodesists, surveyors, physicists, and other specialists. The fields of geodesy, geomatics, metrology, monitoring and traditional surveying will be discussed in this unique gathering.

The deadlines:

The abstract submission will be open as from 25th April 2022 and close on 30th June 2022. It was decided to extend the submission deadline until Friday, 15th July 2022.

Registration is now open and will close on Friday, 7th October 2022.

The paper submission will end on Friday, 14th October 2022.

Starts 31 Oct 2022, 17:30
Ends 4 Nov 2022, 13:00
Europe/Zurich

Appart'City Hotel
11, avenue des Sablonnières
01210 Ferney-Voltaire
France

[Dominique Missiaen](#)
[Helene Mainaud Durand](#)

[IWAA2022_Poster.pdf](#)

4.まとめ

- ・測定環境含むトラックの実力はシミュレーションで評価できる。
- ・3段座繰りのダイヤモンドドリで簡易にターゲット台の床基準を作成できるとがわかった。
- ・異なる物理量の測定でもアナログ電圧でまとめてスキャナー付きデジボルで測定すると時刻もそろい便利。
- ・温度測定 Pt100が便利 直径0.18mm7本の4導線でも距離150m、分解能0.001°Cで測定できる。
- ・4つの歪ゲージを用いる変位センサーをブリッジで安定に測定できた。
- ・トリガー付きのロガーを用いれば電池式でも亀裂など変位を長期間測定できた。
- ・上下の向きには重力が使えるのでHLSセンサー2台で4mの直線をつくれた。
- ・地下に構造があると脆弱性をもたらす。
- ・振動測定で~200Hz程度までなら加速度センサーではなく動コイル型の速度センサーが安価で使いやすい。
- ・床の振動測定の結果 大きなポンプは機械室の中でも収納部までの距離が遠い場所に設置するのが重要。