

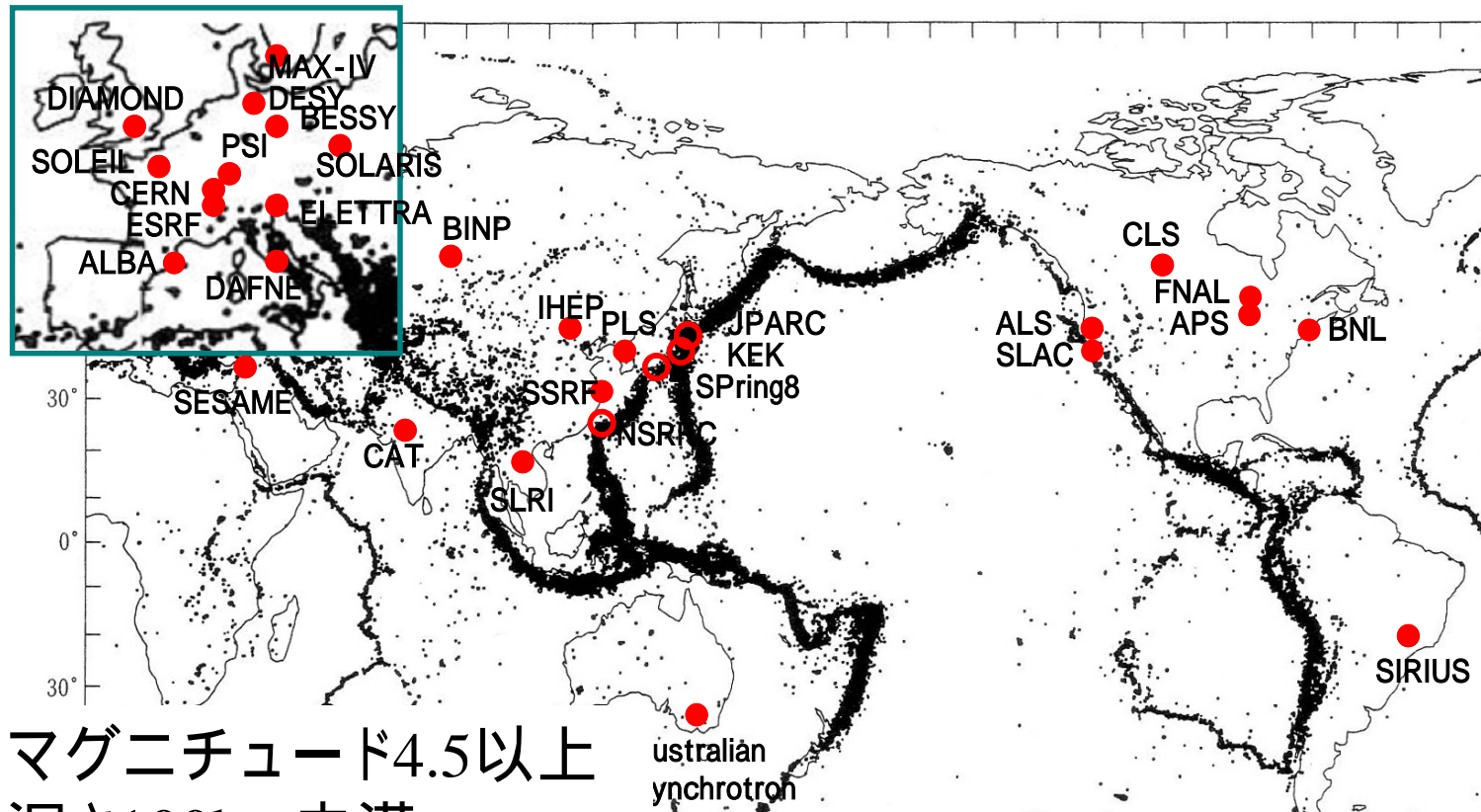
地震時架台等で増幅された機器振動の強震計ITK002による測定

松井佐久夫^{A)}、木内淳^{B)}、甲斐智也^{B)}、岡安雄一^{C)}、
安積則義^{C)}、木村洋昭^{C)}

A) 理研、B)スプリングエイトサービス
(株)、C)高輝度光科学研究センター

- 1) 地震による加速器の被害
- 2) 地震対策
- 3) 強振計ITK002
- 4) 測定例 振動の増幅
- 5) まとめ

地震分布と加速器



マグニチュード4.5以上
深さ100km未満
期間1968~1995

『地震発生の物理学』 大中・松浦著より

地震による被害

『東日本大震災によるKEK電子陽電子入射器の被害について』 榎本牧志 加速器学会誌Vol.8, No.2(2011.7.31発行) より

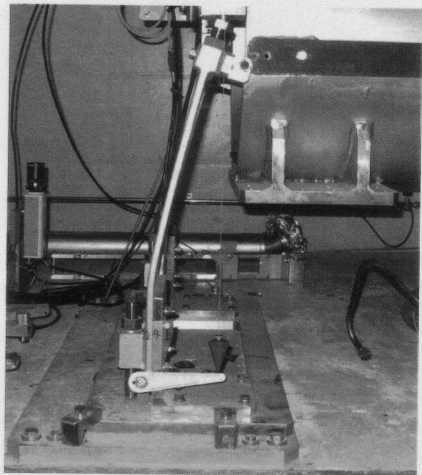


図8 塑性変形した加速ユニット架台。この架台は標準架台ではなく加速管の他に四極電磁石が載っている。また、現在の加速ユニット架台は横方向の位置復元性にも問題のあることがわかっており、架台修復に際して今後の課題となっている。

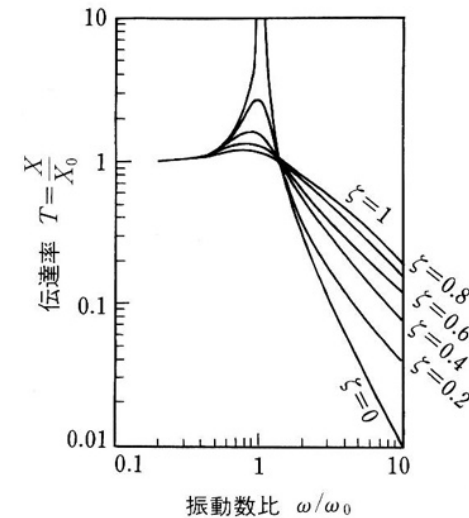
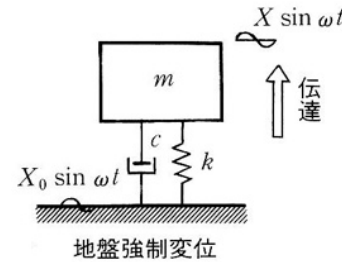
振動の増幅を抑える→固有振動数を地面の振動数から外す
 →高い方へずらす(剛構造)
 →低い方へずらす(柔構造)

増幅度=1/減衰率/2

$$\text{減衰比 } \zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$$

$$\omega_n = \sqrt{k/m}$$

$$\omega_0 = \sqrt{1-2\zeta^2} \omega_n$$

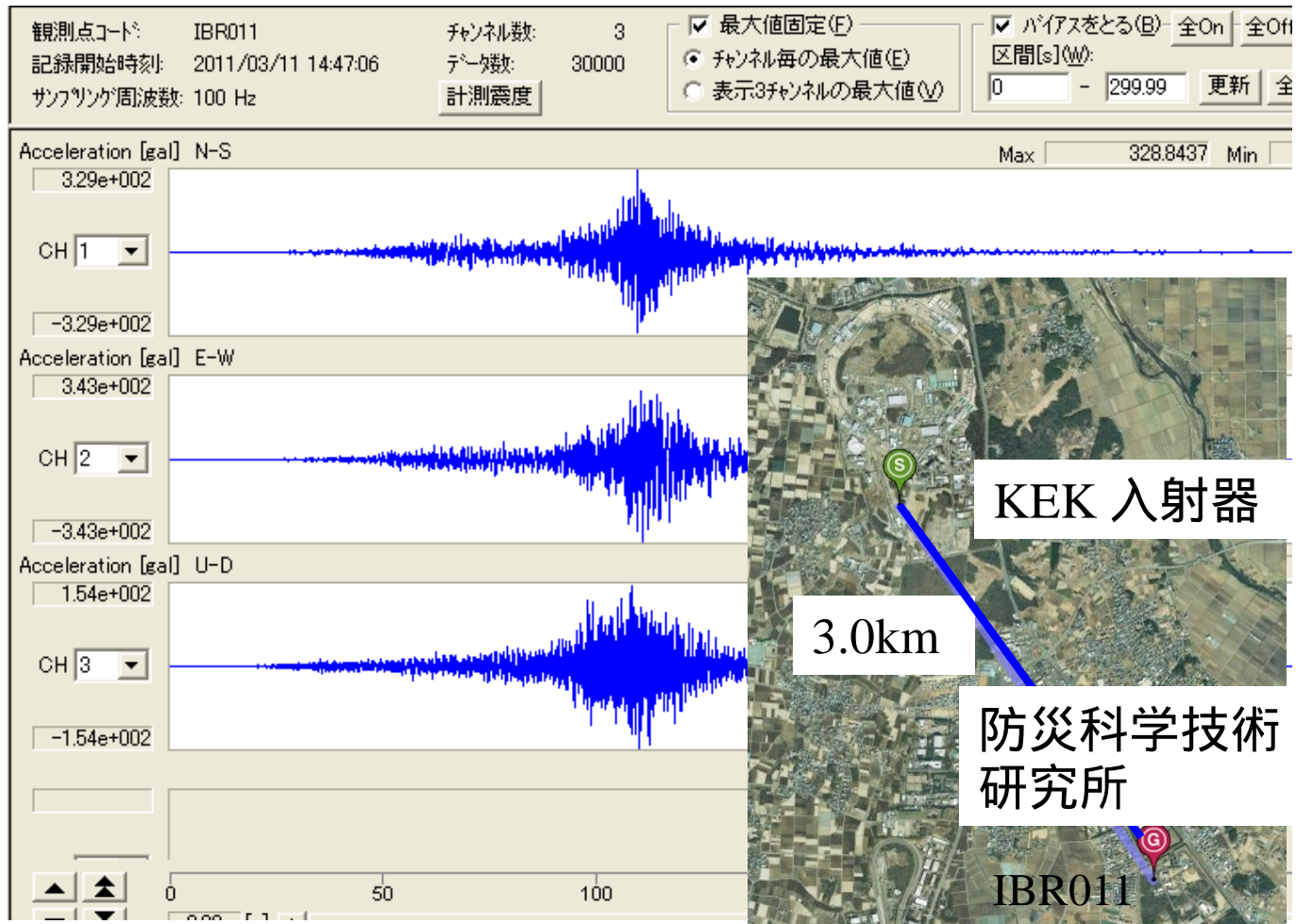


力および変位の伝達と伝達率

『振動をみる』田中基八郎・大久保信行 共著 より

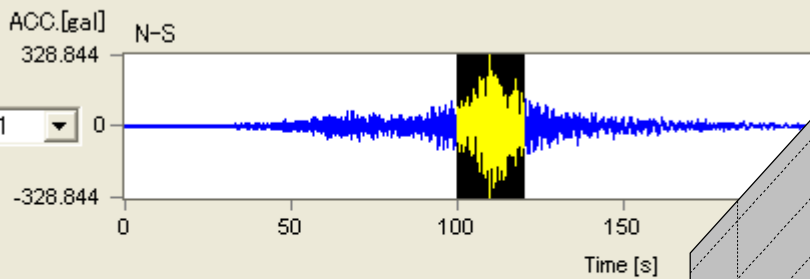
東日本大震災の場合

線型加速器から3kmの距離の防災研の振動



パワースペクトル

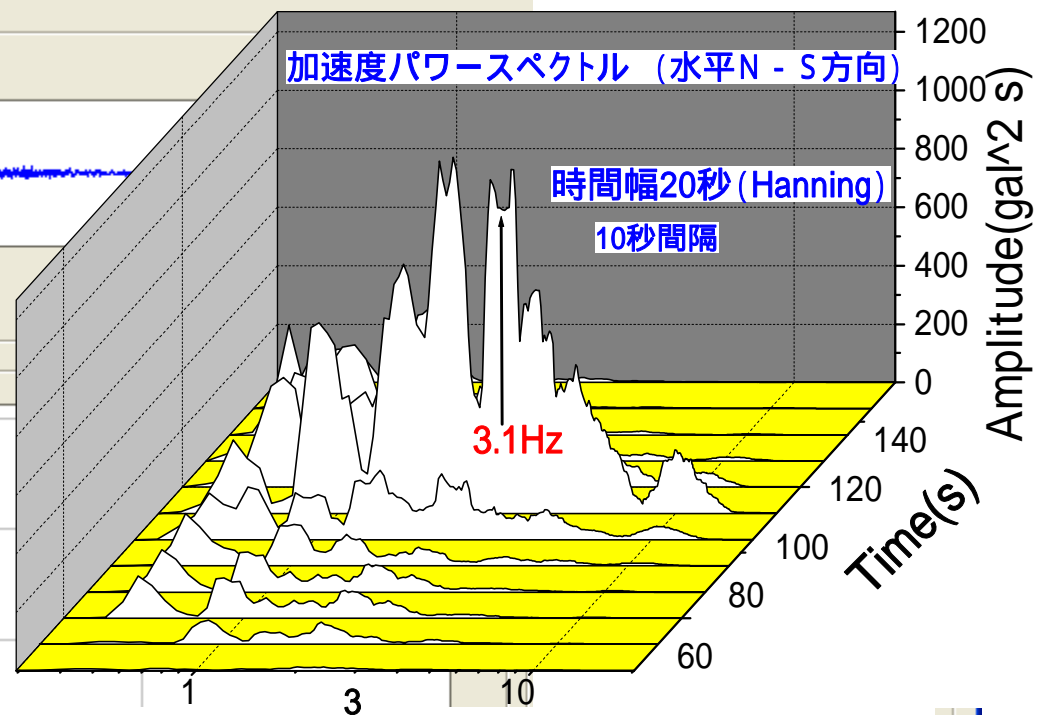
入力波形



加速度パワースペクトル (水平N - S方向)

時間幅20秒 (Hanning)

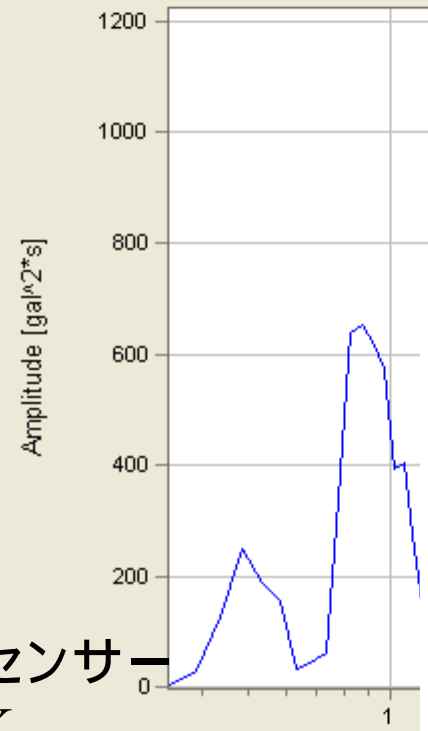
10秒間隔



黒枠 (20秒) のスペクトル

3.1Hz

パワースペクトル



センサー
K-
NET11A)

F02: PSD-Y

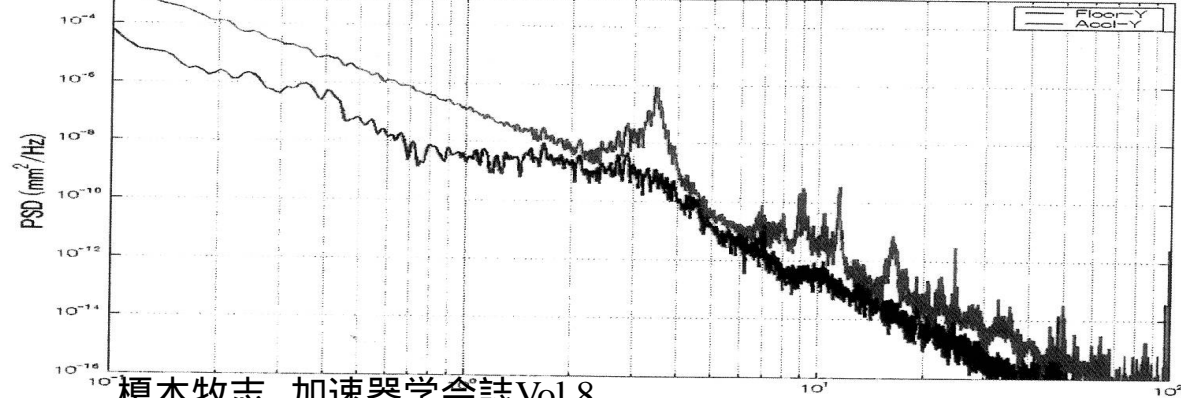


図7 榎本牧志 加速器学会誌Vol.8, 加速ユニット標準架台の振動スペクトル. 横軸は周波数, 縦軸は単位周波数当たりの振動のパワー (二乗平均加速度) で Power Spectral Density (PSD) と呼ばれる. No.27(2011-7-31発行)より

KEKの地盤から来る振動 ~ 3 Hz

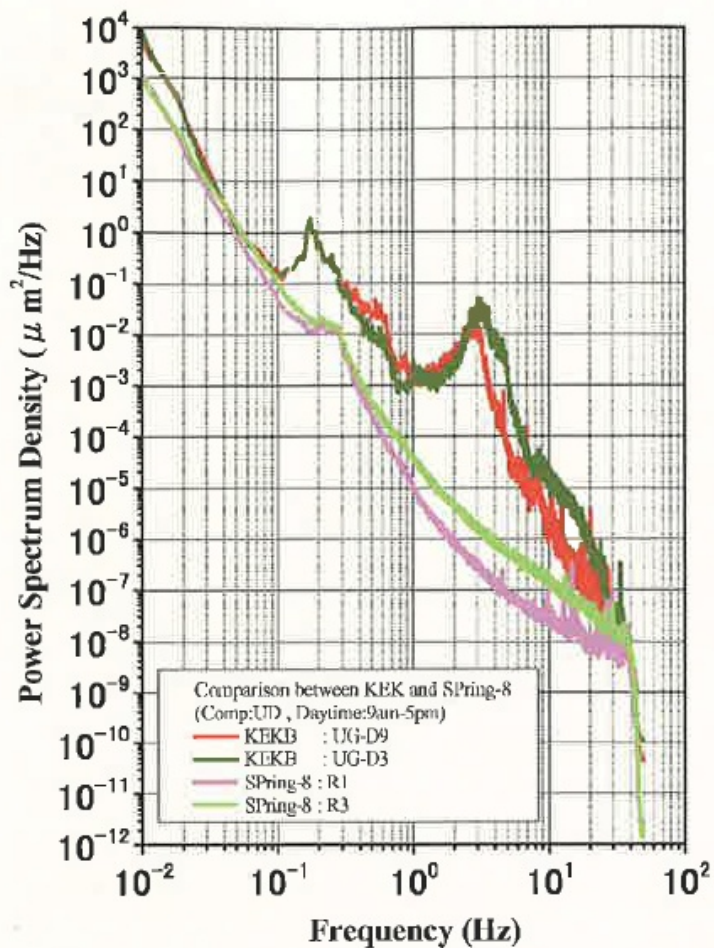


図-4.9 KEK・SPring-8 のパワースペクトル比較

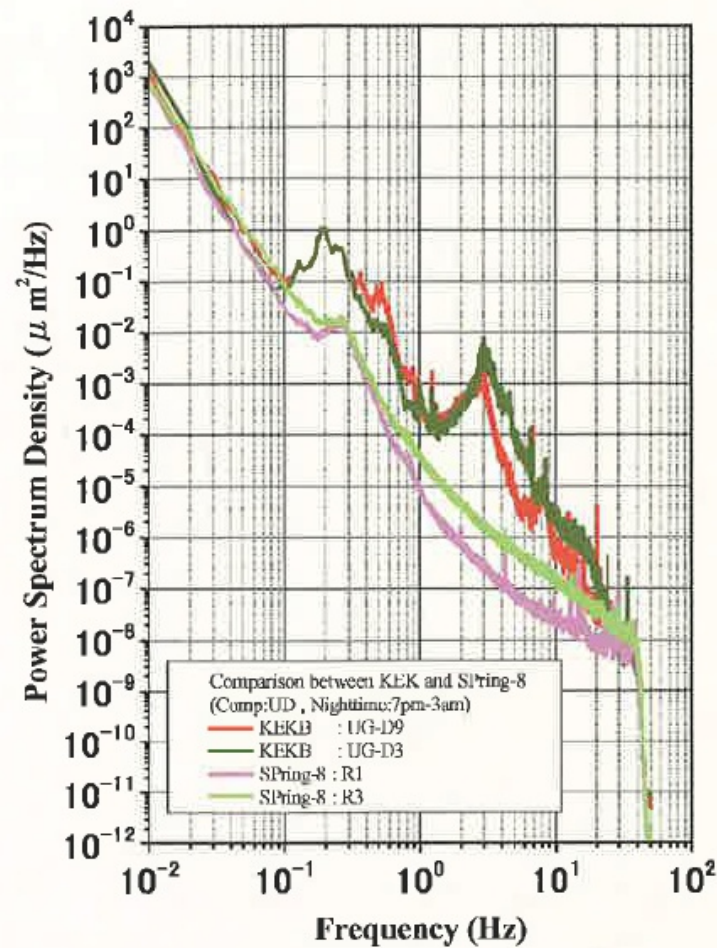
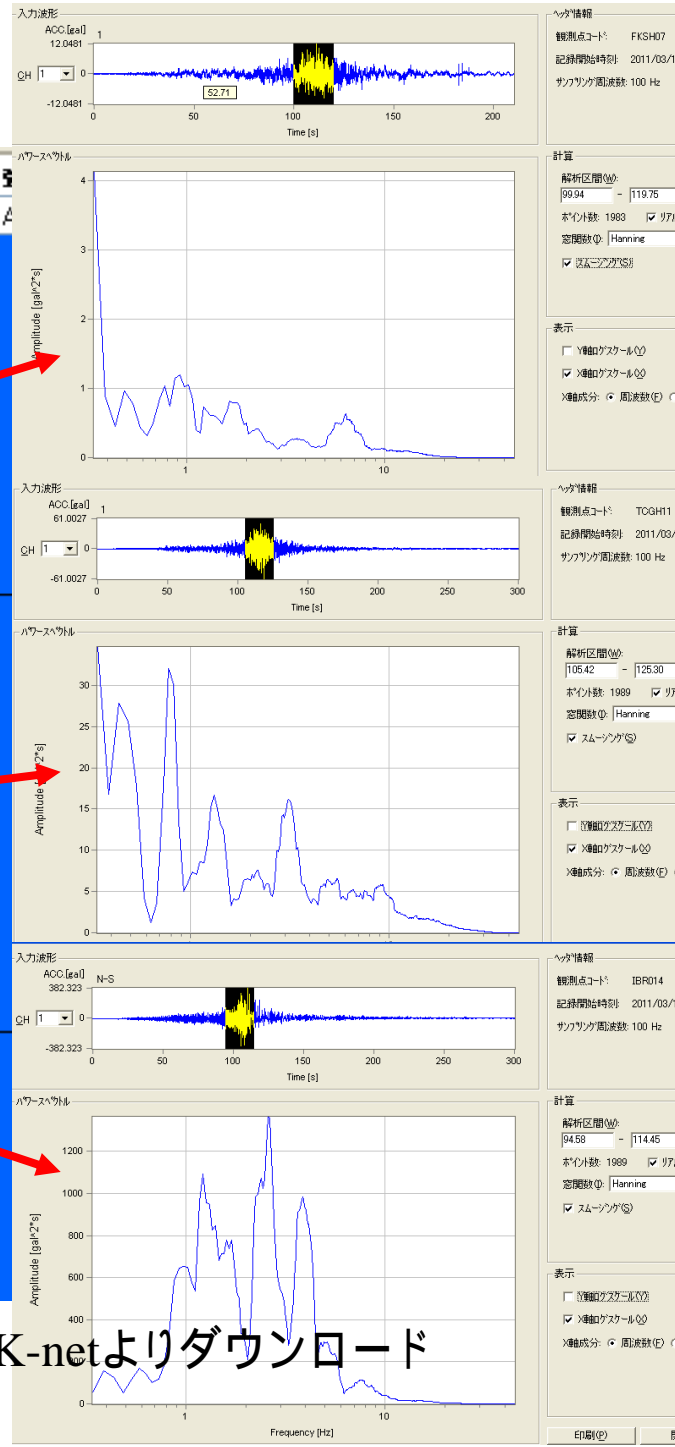
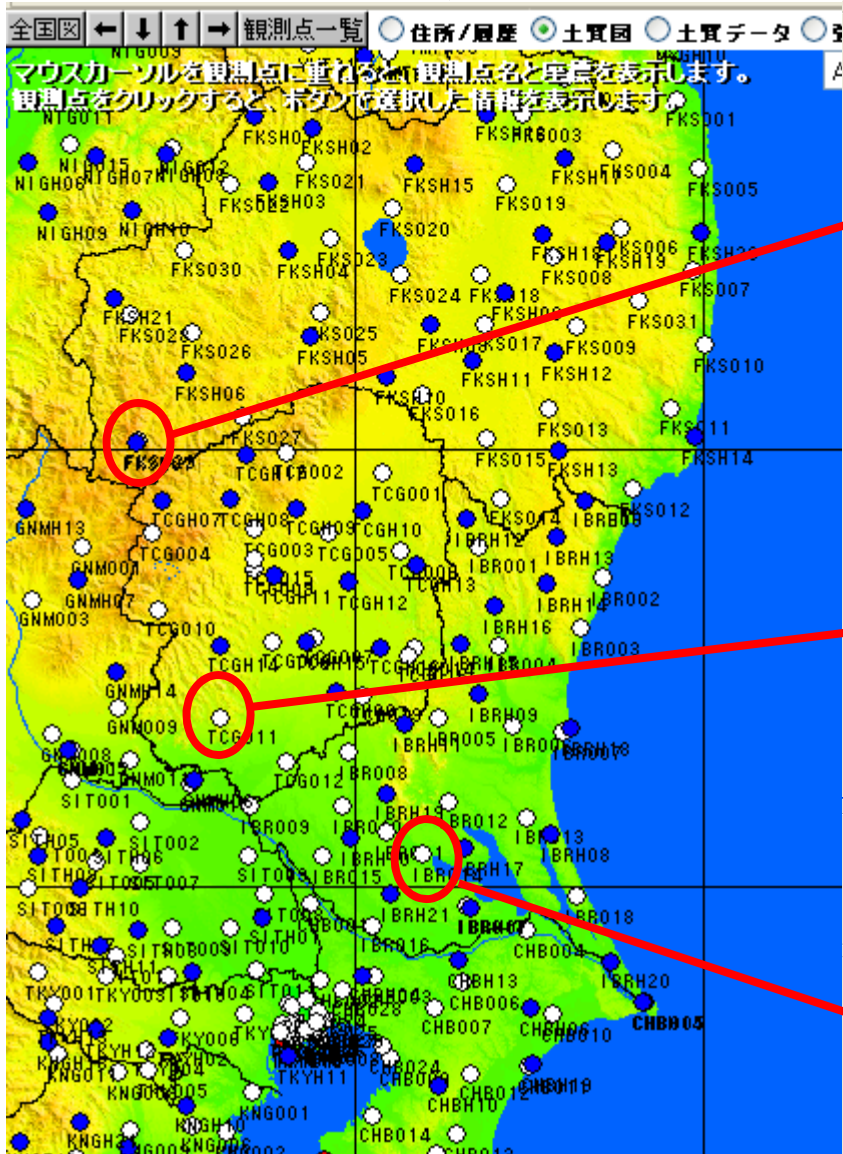


図-4.10 KEK・SPring-8 のパワースペクトル比較

『KEKおよびSPring-8における常時微動測定』 菅原ほか より

地盤などによる違い



データ:防災研 K-NET,KiK-netよりダウンロード

強震計 ITK002

・IT強震計コンソーシアム で開発

……東京大学地震研究所を中心として、複数の民間企業や研究機関等による産学連携共同研究を実施する新しい組織です。……

地震時に家屋などそれぞれの場所でどのような振動をしているか測定することで耐震対策に役立てる ということ
複数の設置なので振動計測器として安価であること

センサーは例えばGeophoneのように1個(1成分)1万円で購入できても測定、記録の部分に費用がかかる
→記録まで含め低価格で実現している

ITK002 (株)エーラボ製

加速度センサー GMR使用

3軸

測定レンジ ± 2450 Gal

ノイズ <0.1 Gal

定格電圧 $6V \pm 10\%$

消費電力 $\sim 3W$ ($\sim 0.5A$)

外形 $10 \times 14 \times 4$ cm

重量 ~ 620 g

時間 NTP

サンプリング $100Hz$

記録 SDカード又はイーサネットケーブルでPCに保存

(16GB 3ヶ月) 1分ごとのデータ

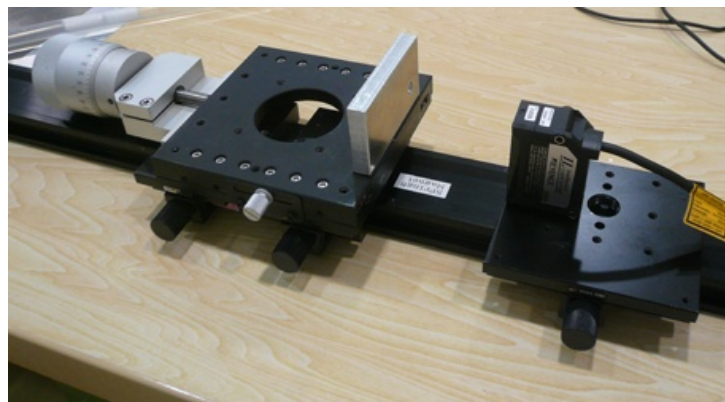
ITK002 ケース アルミ製



周波数特性 測定

レーザー変位センサー

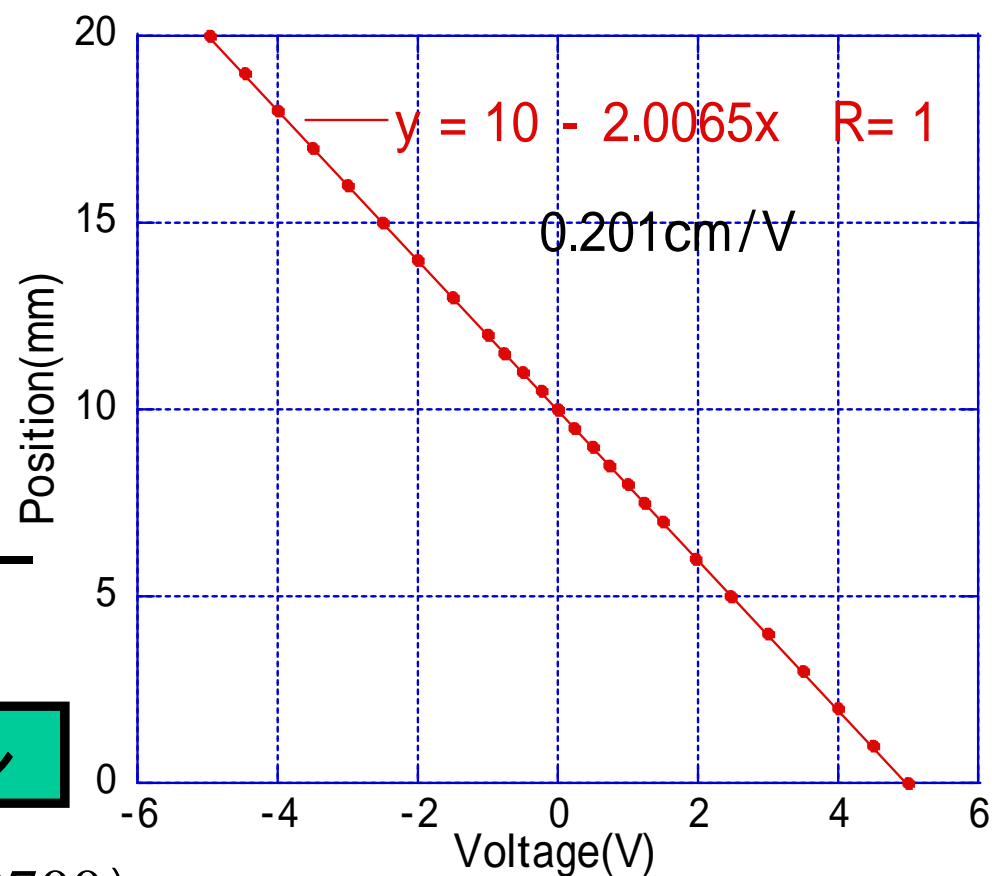
キーエンス IL-S065



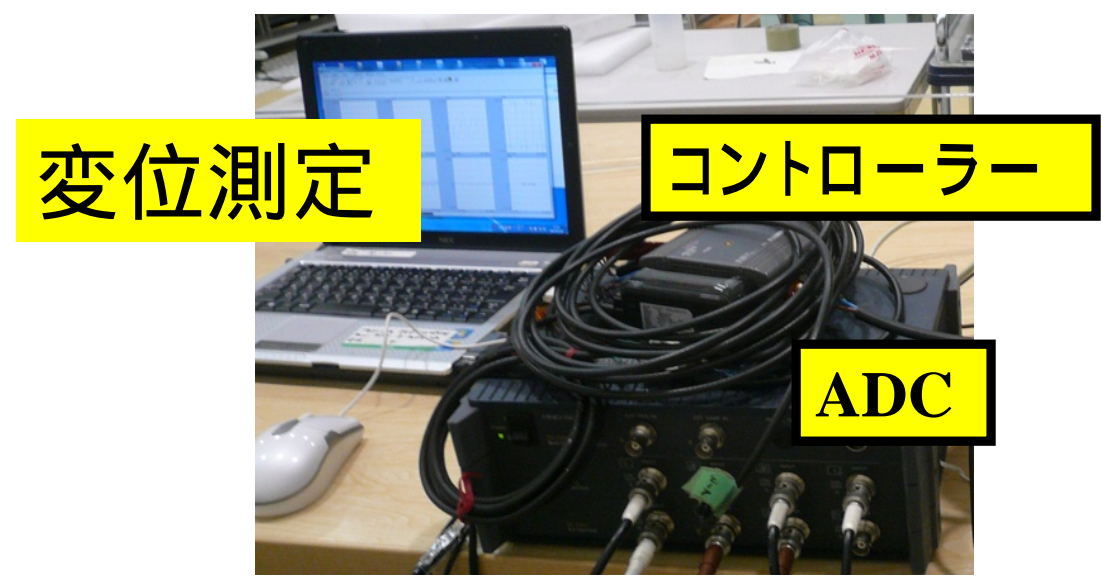
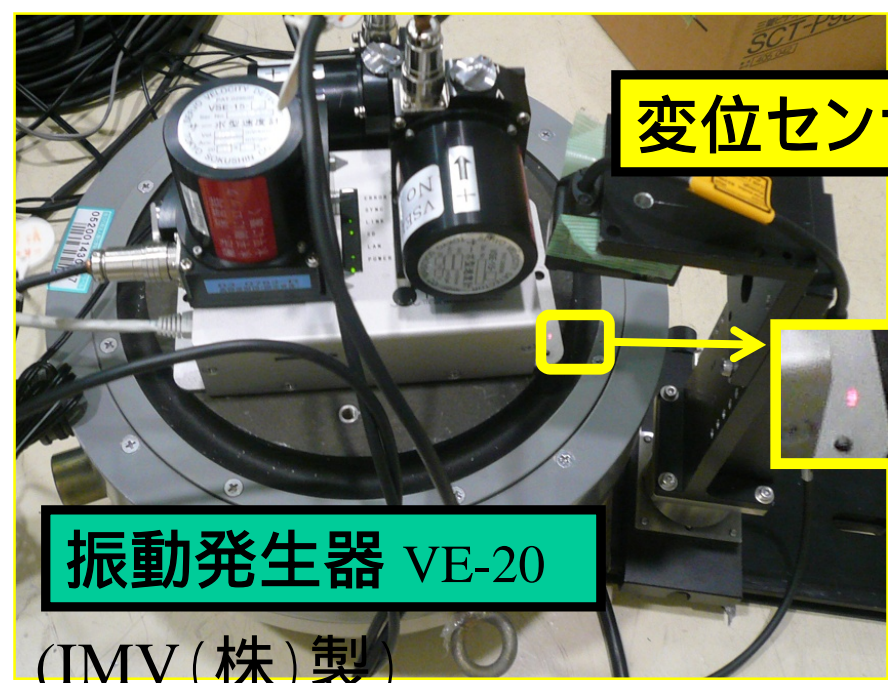
コントローラー
KZ-U3

デジタル

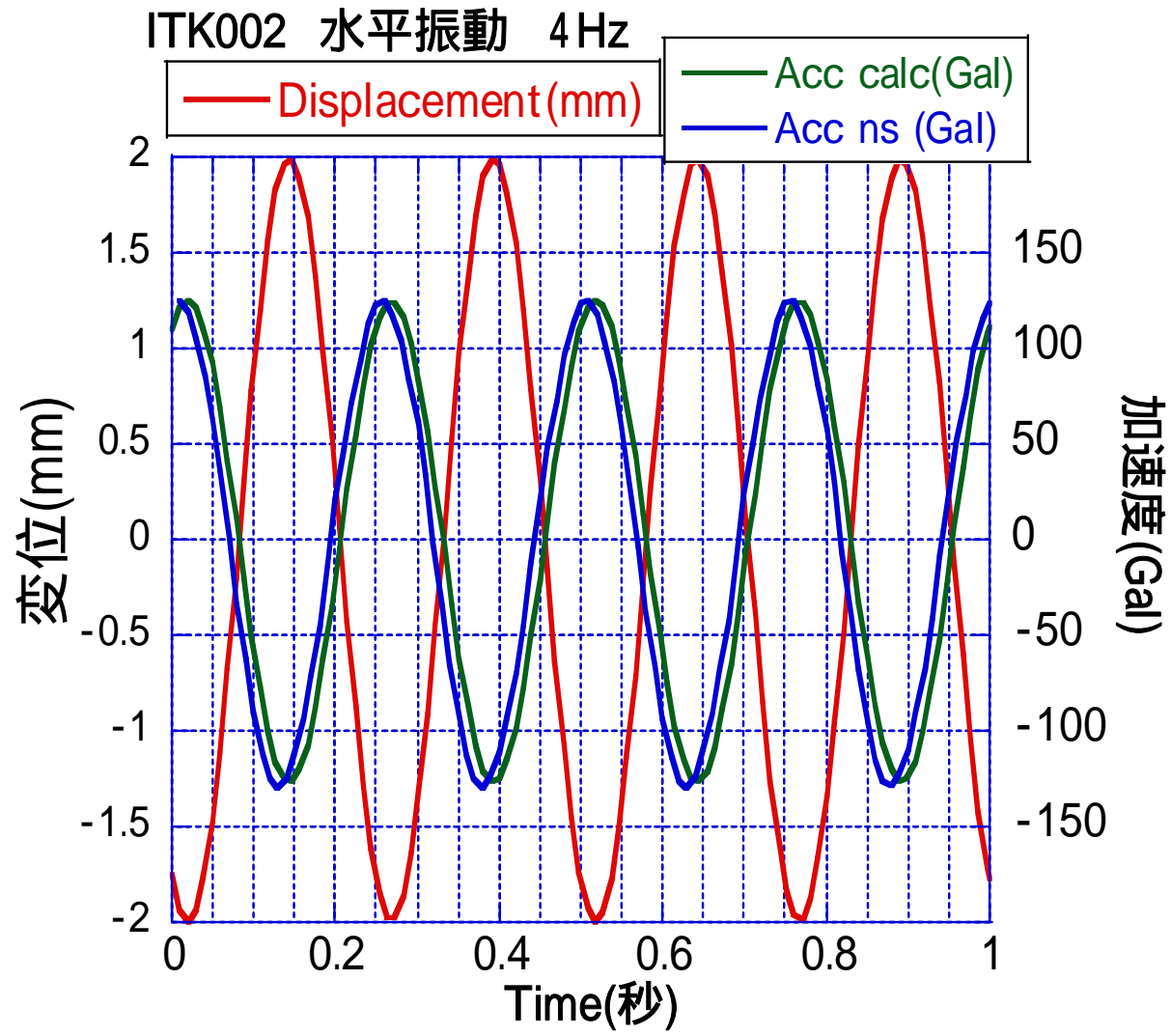
(ケースレー2700)



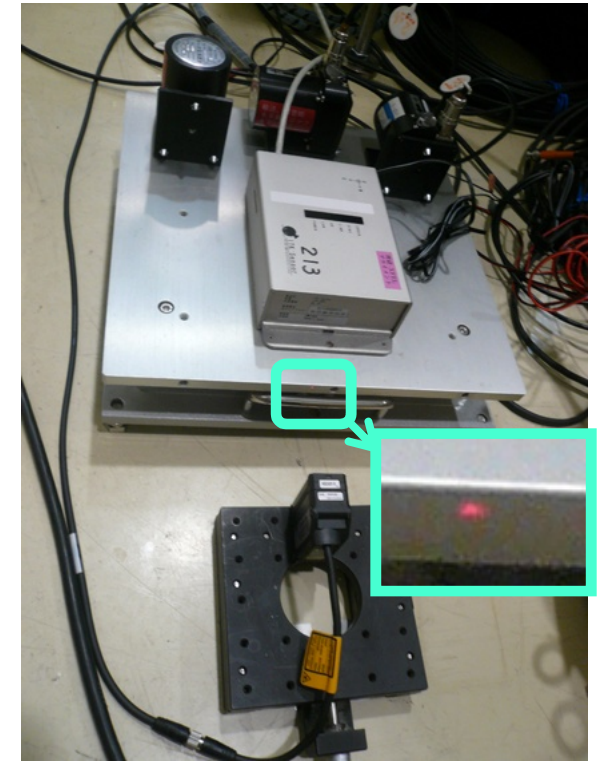
垂直方向加振



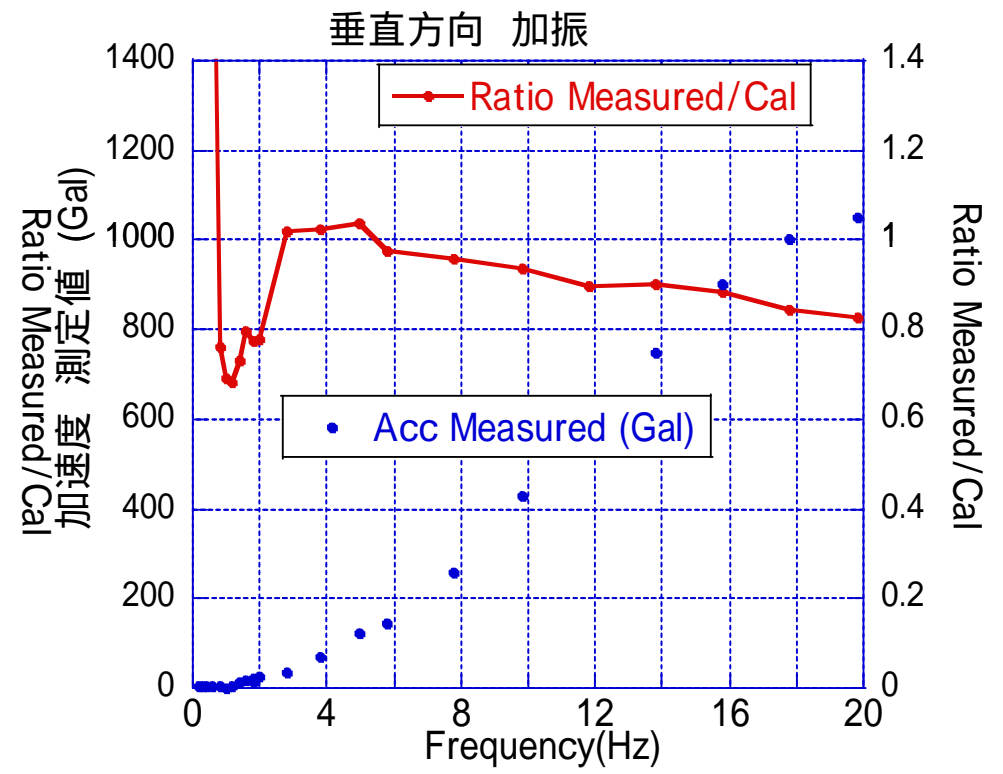
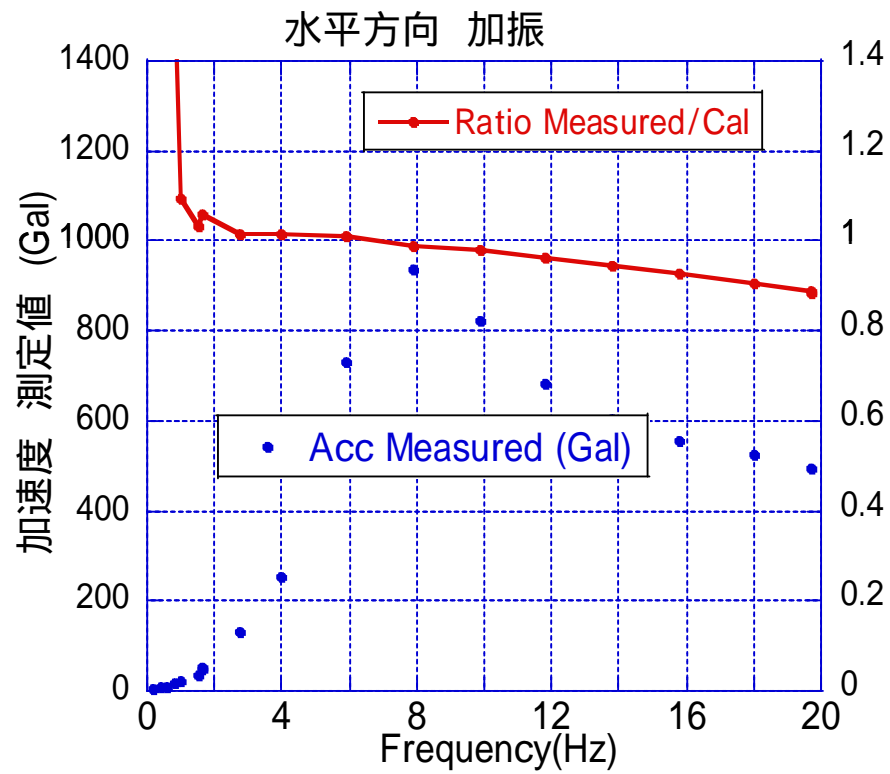
(Graduo 小野測器)



振動発生器 PET-03H (IMV (株) 製)



周波数特性



実際の地震

2013.11.20

10:57

震央 兵庫県
南西部

マグニチュード

4.0

深さ 14km

上郡町 (Hinet)

GAL(GMR)

-118.669100(gal)

ITK002 東西方向

(蓄積リング 4セル保守通

路)

-142.303154(gal) diff:23.634054(gal)

-70.763143(gal)

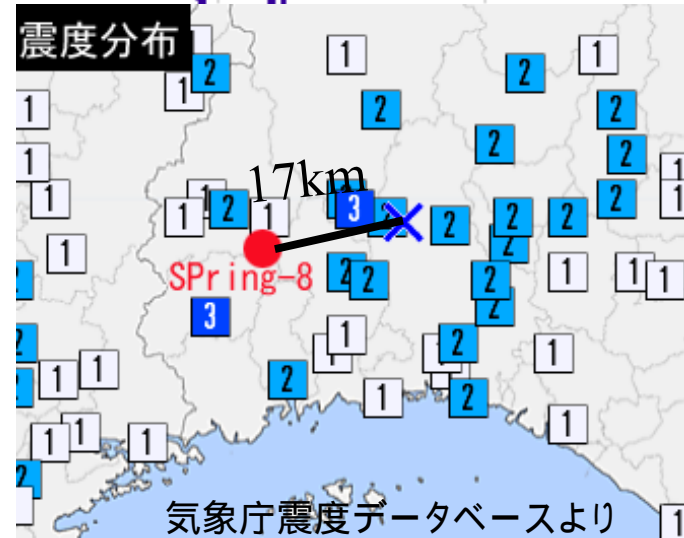
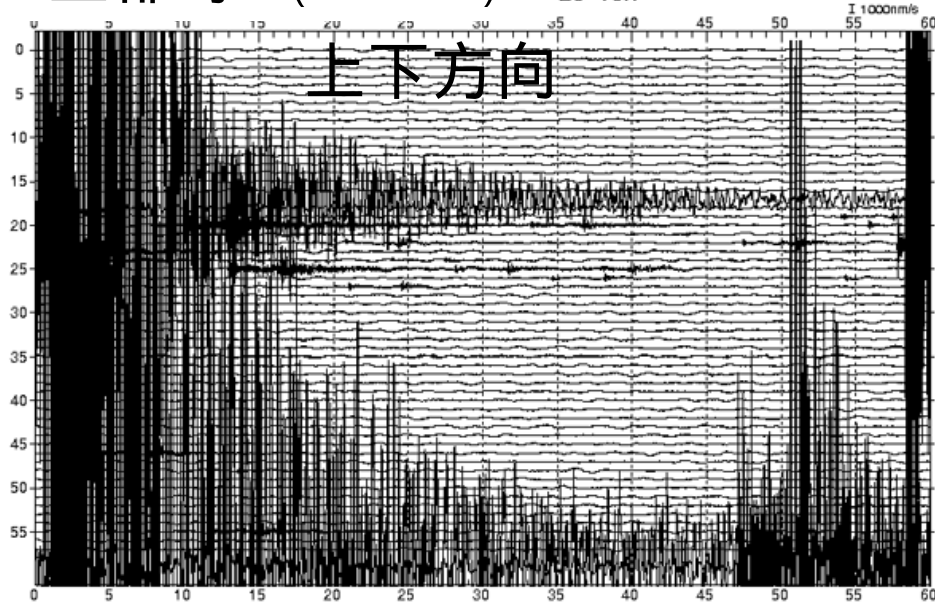
南北方向

-83.660923(gal) diff:12.897780(gal)

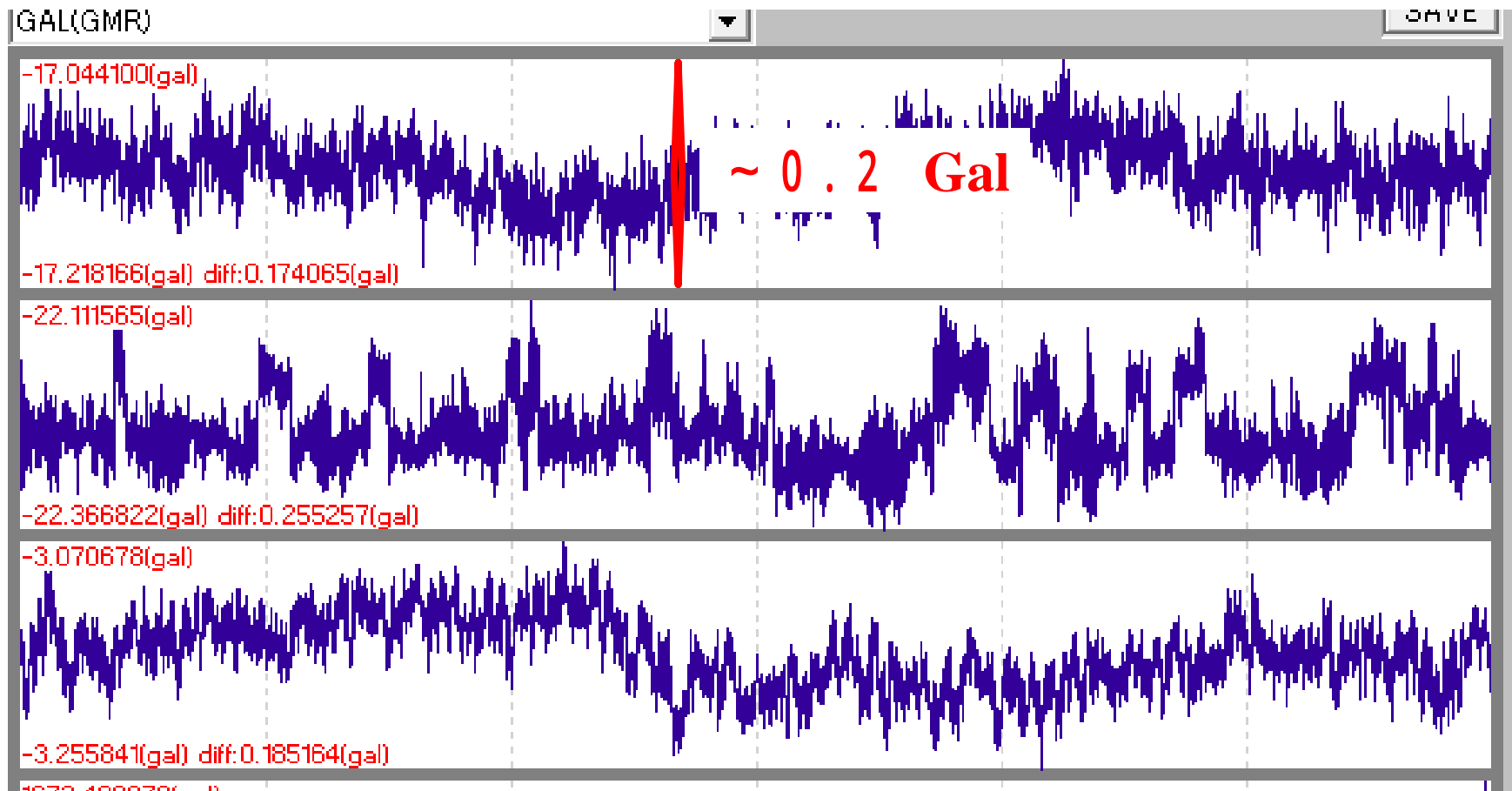
266.398364(gal)

上下方向

013年11月20日10時
20 10h

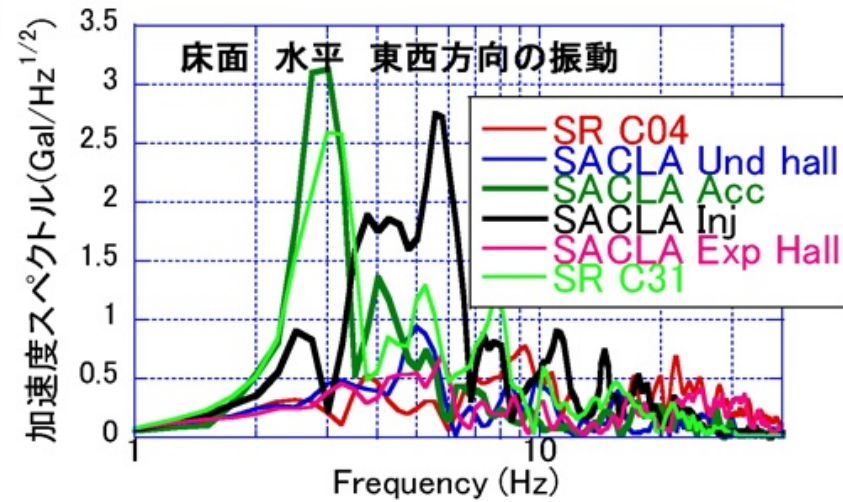
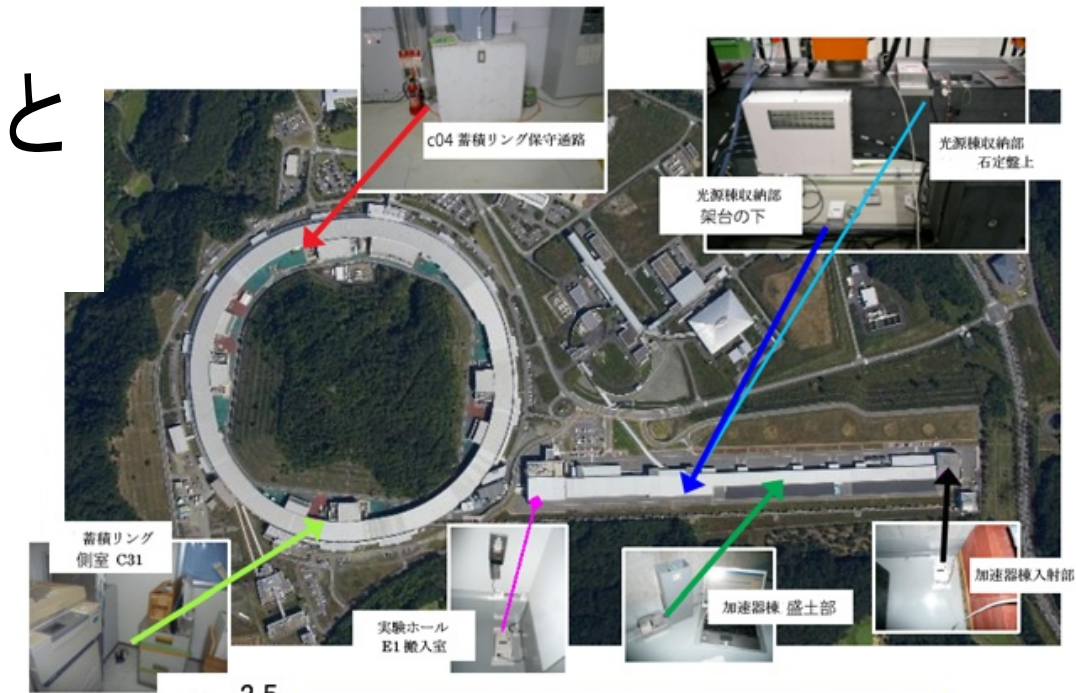


ITK 002の通常のノイズレベル



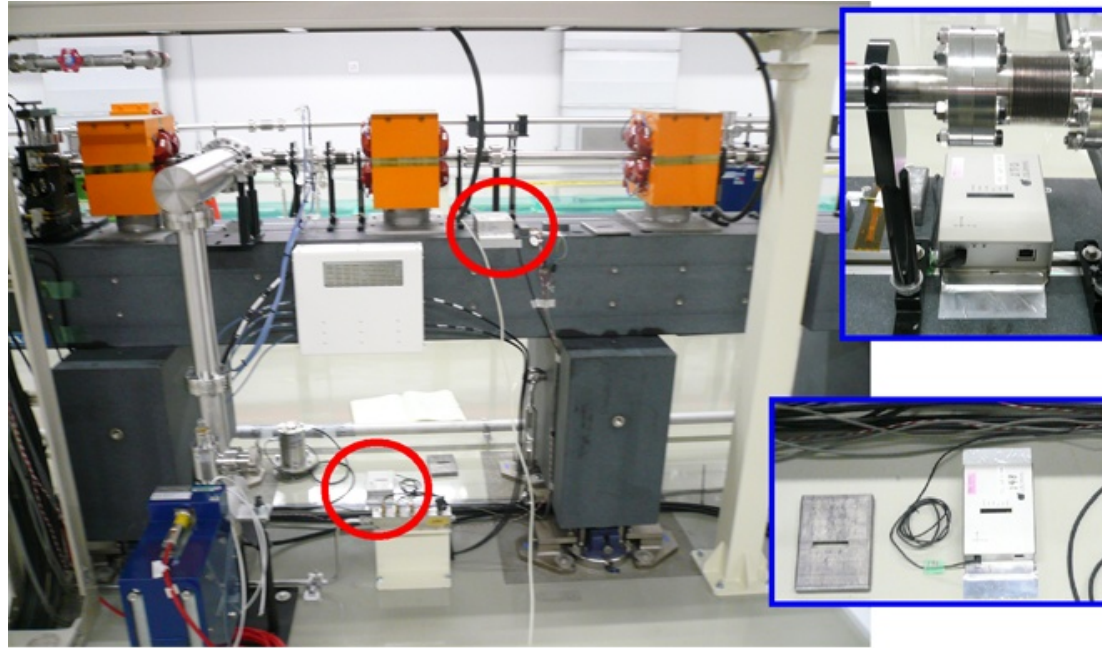
地盤の違いと振動

2013.11.20
の地震時



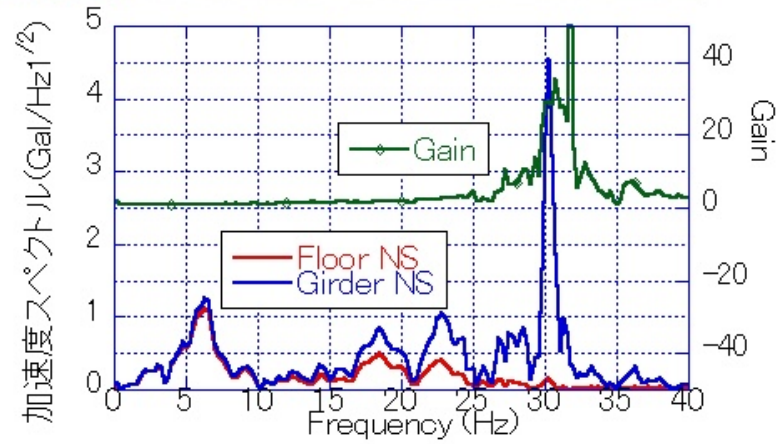
架台による増幅

SACLA 光源棟



架台の上

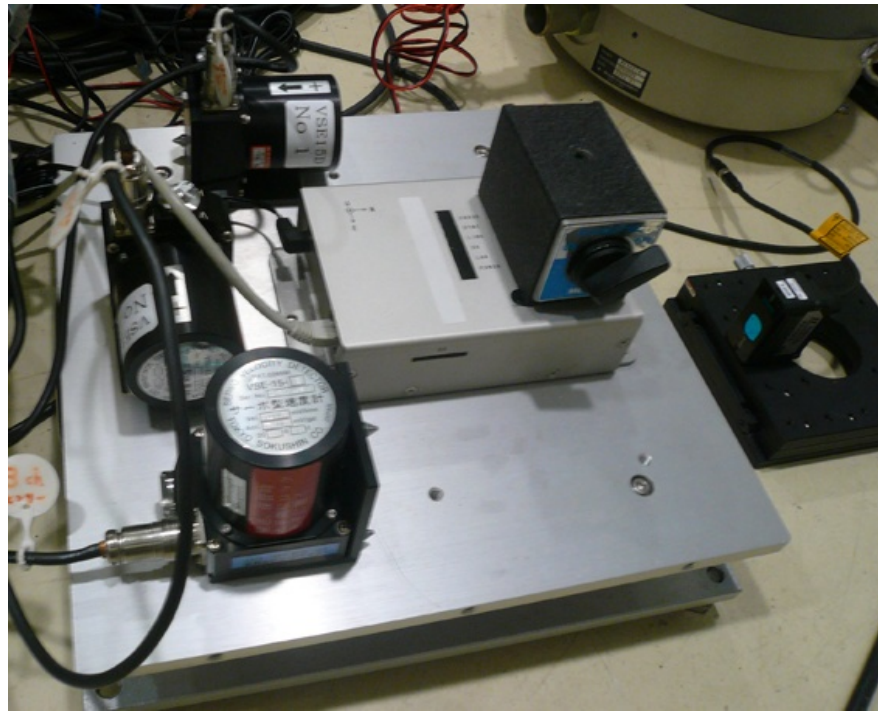
架台の下



磁場の影響

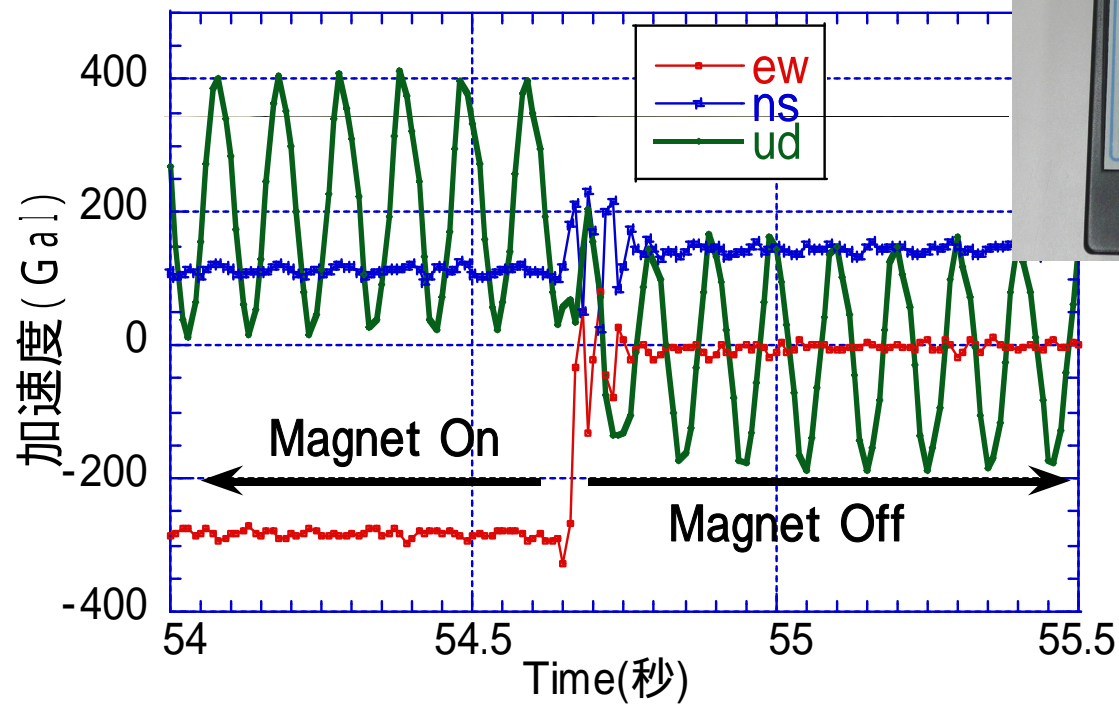
- GMR素子の上2cmにマグネットベースを置き磁気のスイッチをON OFFする

水平方向 10Hz

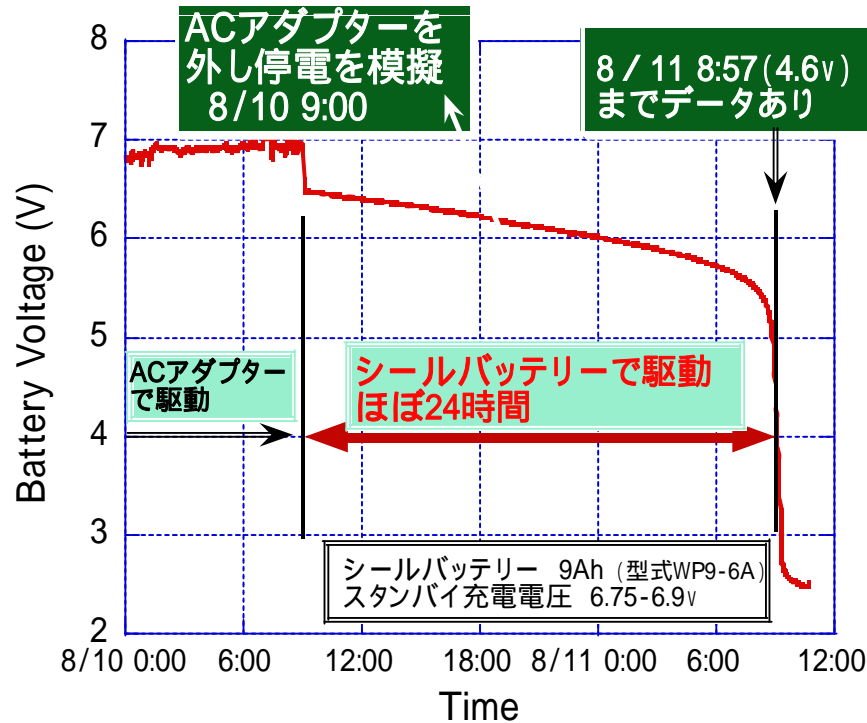
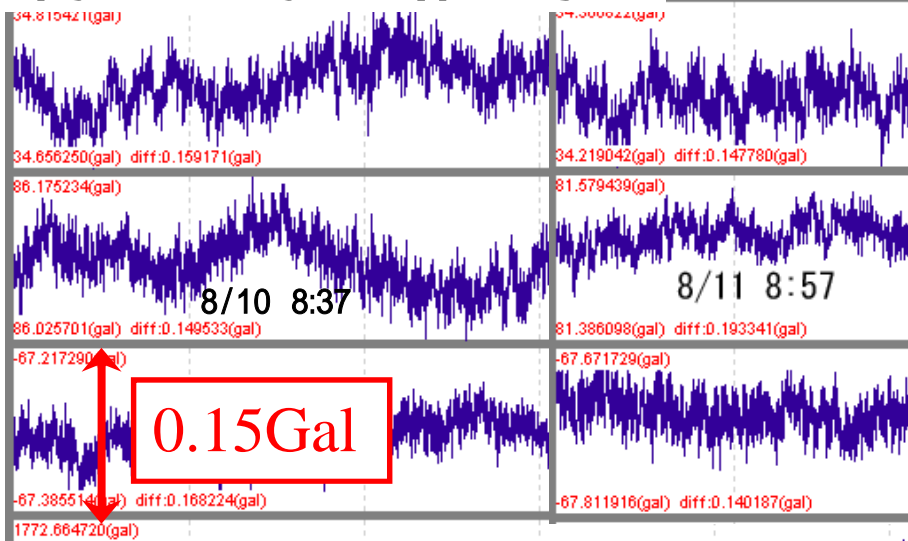


磁場の影響

- 垂直方向
10Hz



停電時の記録



ACアダプターの出
力電圧はバッテリー
の充電が十分できる
電圧(スタンバイ充
電電圧)が良い

まとめ

- 1)地震時に増幅されやすいのでその地盤の固有振動数を把握しておく。
- 2)地震の振動数は通常の機械的な振動数より低い→振幅が大きくなりやすい→～振幅は減衰定数に反比例するので固有振動数が低い架台など、減衰を効かせることが大切。
- 3)ITK002強震計で地震時、床の振動が架台上で増幅される様子、また地盤の違いによる差も測定できた。
- 4)1Hz以上の領域では変位から計算した加速度と実測値に大きな差はなかった。
- 5)バッテリーを繋ぐことで地震時の停電には1日とかば記録できる。
- 6)100G程度のDC磁場なら中央値のシフトが生じるが加速度の相対値はあまり変わらなかった。
- 7)コンパクトな振動の記録計で電圧も6Vと用意しやすい。ただ、理由は不明であるが加速器の内部での使用など故障も発生する。(電源ラインにはパルス防止のコアをつけている)

現在、壊れにくい測定器が開発されている。(型式IoLAM-02 オムロン製でイーグローバレッジ(株)より販売)

地震時の各地の加速度のデータは防災科学技術研究所のK-NET,KiK-netのデータベースからダウンロードしました。また、簡易なパワースペクトル計算も利用しました。ありがとうございました。