

ACROSS-地震計アレイ観測のための 白山工業データロガーLS7000-ACの特性評価とプリアンプ作成

生田領野・見須裕美・藤井巖・山岡耕春

2003年2月より6月までの予定で淡路島野島断層近傍のACROSSサイトにおいてACROSS震源と地表地震計アレイを用いた地下構造の連続モニターを行っている[本大会ポスター発表:見須].

この実験では地震計アレイによる出力信号のAD変換, 記録装置として, 白山工業製の地震計測用データロガーDATAMARK LS-7000に, ACROSS用ファームウェアを搭載したものを用いている. 今回観測を行う上で, ACROSS観測に特有の問題を含めこのLS-7000の特性評価を行った. またその際, LS-7000のAD分解能を補うために専用のプリアンプを製作したので報告する.

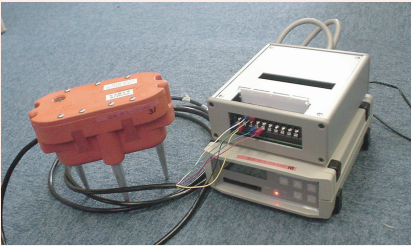
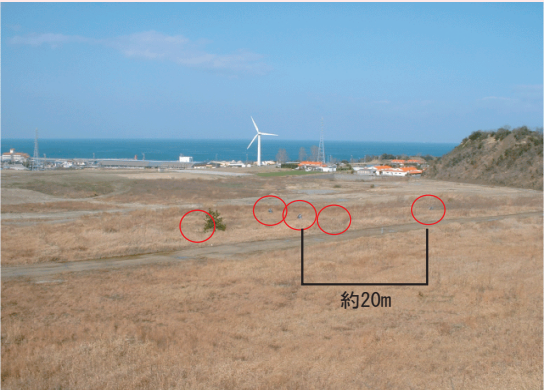


Fig. 1:
LS7000 (右下), 地震計MarkProducts4. 5Hz (左)
と今回作成したプリアンプ(右上).

Fig. 2:
淡路島, アレイ観測点
○内にソーラシステムが見える.
現場には50mx36mの10点十字型アレイが
2セット設置された.



LS7000 (白山工業株式会社) 主な使用と特徴

入力レンジ $\pm 10\text{V}$ (0dB), $\pm 1\text{V}$ (20dB)
分解能 24bit ($\Delta \Sigma$ 型AD)
A/D精度 100Hzサンプリングで17bit保証
時刻校正 GPSによる (1衛星だけでも可)
動作温度 $-20 \sim 50^\circ\text{C}$

- ◎高ダイナミックレンジ
24bit $\Delta \Sigma$ 型A/Dコンバータ
- ◎GPSによる時刻校正
AD変換器のオーバーサンプリングまで厳密な同期
デシメーションフィルタのタイミングも正確に同期
- ◎小型で軽量・低消費電力 (12V・130mA)

自己ノイズ評価



fig. 4:
LS7000の自己ノイズ評価-入力端子を
ショートしての計測.

LS7000の入力をショートしてノイズレベルを測定.
fig. 5の時間波形, ノイズパワーが得られた.

最大レンジ	ノイズパワー	ダイナミック レンジ
10V (1倍)	$50 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	112dB (18bit)
1V (10倍)	$5 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	112dB (18bit)

ノイズレベルは淡路島でのノイズレベルを上回る.
 $5 \times 10^{-6} [\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}] / 30 [\text{Vs}/\text{m}]$ (地震計MarkProducts4. 5Hz感度)
 $= 1.5 \times 10^{-7} [\text{m}/(\text{s} \cdot \sqrt{\text{Hz}})] > \sim 10^{-8} \text{m}/(\text{s} \cdot \sqrt{\text{Hz}})$

計測の際の自己ノイズレベル 淡路島でのノイズレベル

結論; 最大レンジでも比較的静かな場所では自己ノイズが
地動よりかなり大きい.

$\Delta \Sigma$ 型A-D変換

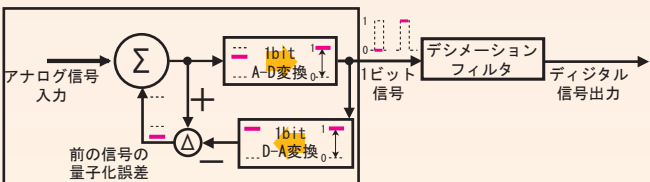


fig. 3:
LS7000では, アナログ電圧のデジタル変換に $\Delta \Sigma$ 型を採用している. $\Delta \Sigma$ 型とは, $\Delta \Sigma$ 変調器が, 前の信号と現在の信号の差が+か-かの情報を1ビットの信号として出力(ビットストリーム), ビットの密度が入力信号の振幅を表すAD変換である. この際, 量子化誤差 (Δ) を入力信号に加算 (Σ) している.
良く用いられる逐次比較型(大抵15ビット程度)に比べ, 高いダイナミックレンジを得ることができる.

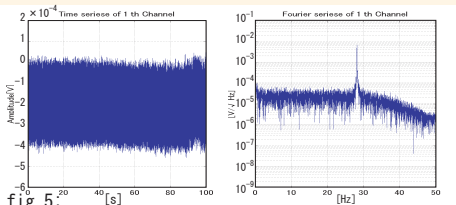
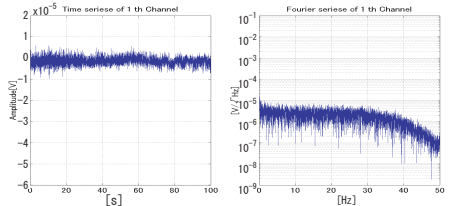


fig. 5:
LS7000自己ノイズ測定の結果.
a), b) 10Vレンジでの時系列波形とスペクトル. b) では20Hzあたりに特徴的なノイズが見える(原因不明). 全体のノイズレベルは $50 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$.
c), d) 1Vレンジでの時系列波形とスペクトル(入力換算). 比較的フラットな特性. ノイズレベルは $5 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$.



温度特性評価

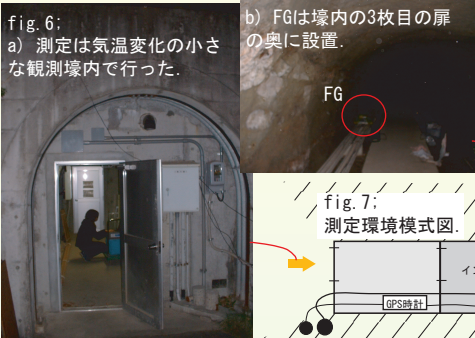


fig. 6:
a) 測定は気温変化の小さな観測壕内で行った.
b) FGは壕内の3枚目の扉の奥に設置.

実験; 温度変化の小さい観測壕内にファンクションジェネレータ (FG) を設置, インキュベータでLS7000の温度をコントロールし, FGの波形を計測. 温度特性を評価した.

実験パラメーター	採用値
FGの発信周波数	1. 01Hz
FGからの入力電圧	100mV
LS7000の温度	$-5 \sim 40^\circ\text{C}$
サンプリング周波数	100Hz
LS7000のレンジ	10V

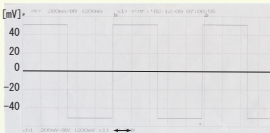


fig. 8:
FGからの入力波形. (オシロスコープの出力) 1. 01Hzの矩形波を用いた.
FGの基準波形にはGPSからの1Mppsクロックを用いた.

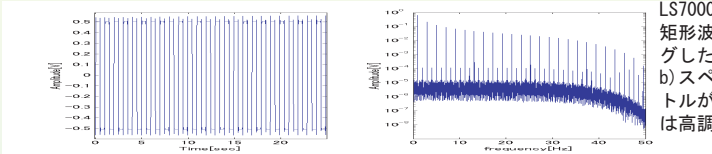


fig. 9:
LS7000の出力. a) 時系列波形.
矩形波の角が飛び出しているのはオーバーサンプリングしたものにローパスフィルターを掛けているため.
b) スペクトル. 1. 01, 3. 03, 5. 05, ... Hzのラインスペクトルが見える. 間の一定振幅の2. 02, 4. 04, 6. 06, ... Hzは高調波と思われる.

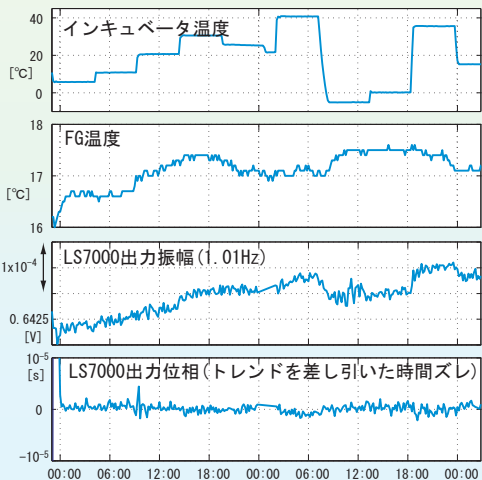


fig. 10:
5時間毎, 5°C おきにLS7000の温度を変化させ, 振幅・位相の温度特性を評価した.
a) インキュベータ内部 (LS7000) の温度変化.
b) ファンクションジェネレータの温度変化.
c) LS7000の出力スペクトル (1. 01Hz) の振幅変化.
d) LS7000の時間ズレ (上が遅れ).

fig. 11:
出力の時間変化から見積もった各係数.
温度特性はFGが大きい.
LS7000の温度係数は $1. 75 \times 10^{-7} [\text{K}^{-1}]$ と求まった.

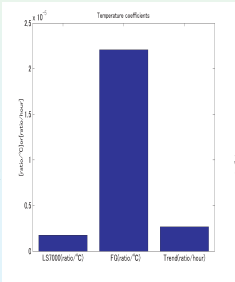


fig. 10-c) のLS7000の振幅出力を,
以下の式で評価. その温度係数を見積もる (fig. 11).

$$Y(t) = aT_i(t) + bT_f(t) + ct + Y_0$$

$Y(t)$: LS7000の出力振幅
 $T_i(t)$: インキュベータの温度
 $T_f(t)$: FG付近の温度
a, b, c: 係数
 Y_0 : 定数

結論; LS7000の出力振幅 (Y) の温度係数は
 $\frac{1}{Y} \frac{dY}{dT} = 1. 75 \times 10^{-7} [\text{K}^{-1}]$

T: 温度
ADのタイミングには温度依存性はない.

アンプ製作

観測サイト (淡路島サイト) のノイズレベルに対してLS7000の自己ノイズレベルが高いため, 入力をプリアンプに通して増幅する必要がある.
LS7000専用のアンプを製作したので紹介する.

アンプ部; ICはBurr-Brown社製インストルメンテーションアンプ, INA118PBを使用.
カタログスペックから見た特長は以下.
◎低オフセット電圧 ($50 \mu\text{V}_{\text{max}}$)
◎低温度ドリフト ($0. 5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
◎高CMR (110dB)
◎低消費電流 ($350 \mu\text{A}$)

電源部; 本来は電池のような安定した定圧電源を用いるのが望ましいが, LS7000が携帯型データロガーであるので, LS7000のセンサ用電源 (14V) をそのまま流用する.
INA118の電源は, $\pm 2 \sim \pm 13\text{V}$ が必要.
DC-DCコンバータで 14V から $\pm 14\text{V}$ を作った後,
3端子レギュレータで 12V に整流した.

回路図

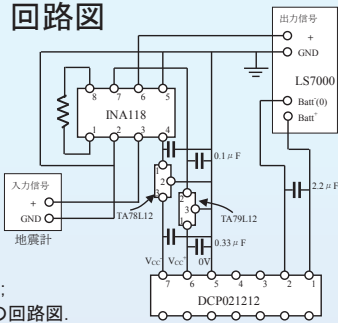


fig. 12:
1Ch分の回路図.
電源は Batt^+ (+14V) を, Burr-Brown社製DC-DCコンバータ「DCP021212」を通し, 更に3端子レギュレータで整流.
入力は「INA118」を通してグランド共通でLS7000へ.

完成品

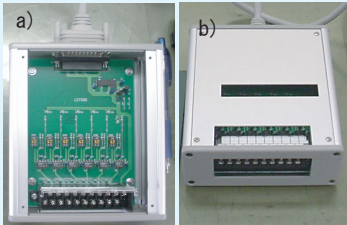


fig. 13:
製作したプリアンプ(基板, ケース加工は(株)三弘にお願いした).
a) 基板部
b) ケースの蓋を閉じた状態.
LS7000とD-subケーブルで接続するだけで使用できる簡便な構造.
ゲインは $\times 10$, $\times 100$ が蓋を閉じた状態に変更可能.

自己ノイズ評価

LS7000に接続し, LS7000の最大レンジを1V (ゲイン; $\times 10$) に設定し, プリアンプは2通りの拡大率設定でノイズ評価を行った (fig. 14).
結果は下表の通り. $\times 10$ では地動ノイズと同程度.
 $\times 100$ では地動ノイズを大きく下回る.

プリアンプ 拡大率	ノイズパワー	S-N比拡大率 (アンプなしと比べて)
$\times 10$	$10 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	5倍
$\times 100$	$20 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	25倍

まとめ

◎白山工業製データロガーLS7000の特性を, 淡路島, 野島断層でのアレイ観測に用いるために評価した.
結果, 地動ノイズを記述するためにはアンプゲインが不足していることが判明.
これを補うために専用のプリアンプを製作した.
◎LS7000の温度特性を計測した.
結果, 振幅特性は $1. 75 \times 10^{-7} [\text{K}^{-1}]$. 位相特性は認められなかった.
◎今後, プリアンプの温度特性を調べる必要がある.
その際はFGの温度特性が影響しない実験環境で行うことが望ましい.