

有線・無線回線のための簡易テレメータシステム

瀬戸憲彦*・中村正夫*・北浦泰子*・田上貴代子*

A Simplified Telemetry System for Wire-use or Wireless Transmission

Norihiko SETO*, Masao NAKAMURA*, Yasuko KITAURA* and Kiyoko TAGAMI*

Abstract

In order to analyze a mechanism of earthquakes around Wakayama-city, we have had the earthquake observation plan using a wireless or wire type telemetry system in this area with multi-observation sites.

For this purpose, we have developed a following telemetry system.

This report describes a one-channel type FM-FM (wireless) and FM (wire) telemetry system. The system has the following characteristics :

- (1) This system has high S/N and high stability, comparing with a four-channel FM system, because it can use wider frequency deviation for sub-carrier.
- (2) The system is compact and low cost, and can be driven with a low input power.

We produced 21 sets of wireless telemetry systems and five sets of wire-use ones. These telemetry systems are used mainly in the north-west of Kii peninsula and provide stable operation.

Key words : PCM (pulse coded modulation), FM (frequency modulation), S/N Improvement coefficient

ま え が き

最近使用されている無線あるいは有線テレメータは、ほとんどが PCM 方式である。しかし、当初、地震予知計画に携わる大学が地震観測に使用する無線の周波数を確保した頃は周波数変調方式（無線は FM-FM, 有線は FM）が主であった。これは PCM 方式に比べるとシステムが安価であること、比較的低消費電力で運用できるという理由による。今回報告するシステムは FM-FM 方式による 1 チャンネル型の無線テレメータと FM 型有線テレメータである。通常、緊急的な臨時観測時には、とりあえず 1 チャンネルで良い場合が多い。また、1 チャンネル型のテレメータシステムは既成の 4 チャンネル型 FM 方式より高ダイナミックレンジを確保できること、低消費電力であること、かつ安価に製作できる利点がある。我々はこれらの無線系および有線系のテレメータシステムをそれぞれ

21 対向と 5 対向製作した。本報告はシステムの S/N の見積もりとシステムの概要について述べる。

4 チャンネル型と 1 チャンネル型 無線テレメータの S/N の見積もり

FM-FM テレメータ方式において、その S/N は無線回線の C/N (Carrier signal/Noise signal でパワー比、通常 dB で表す) および FM 改善係数 (無線周波数における改善係数とサブキャリアーにおける改善係数) に依存する。無線系 FM-FM テレメータシステムの総合 S/N は以下の式で表される (志津田, 1966)。

$$S/N = C/N \cdot IFM \quad (1)$$

ここで、IFM : S/N 改善係数。

4 チャンネル型の各チャンネルの IFM は以下の式による。

$$\begin{aligned} IFM &= 20 \cdot \log \left(\sqrt{3/2} \cdot (A_{oi}/A) \cdot (F_d/F_i) \cdot (F_{di}/F_{mi}) \cdot \sqrt{(B/2F_m)} \right) \\ &= 20 \cdot \log (1.225 \cdot 0.3 \cdot (125/50) \cdot \sqrt{(8,500/(2 \cdot 50))}) \\ &= 18.5 \text{ (dB)} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、A : サブキャリアーの振幅

A_{oi} : i 番目のサブキャリアーの振幅

1999 年 8 月 30 日受付, 1999 年 10 月 26 日受理。

* 東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター和歌山地震観測所。

* Wakayama Earthquake Observatory Earthquake Observation Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

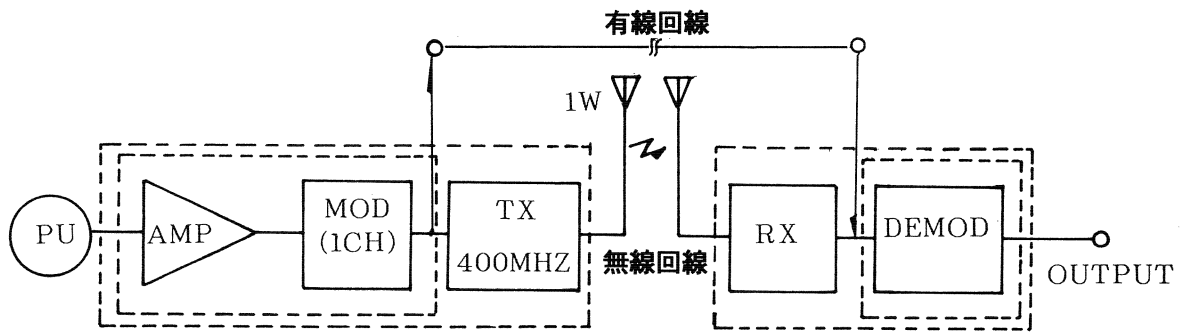


図 1. 1 チャンネル型 FM-FM 無線テレメータ (400 MHz 帯) 及び有線テレメータのブロックダイアグラム
製作した部分はアンプ (AMP)・変調器 (MOD) と復調器 (DEMO) である。送信機 (TX)・受信機 (RX) は既成品 (三協特殊無線製) である。

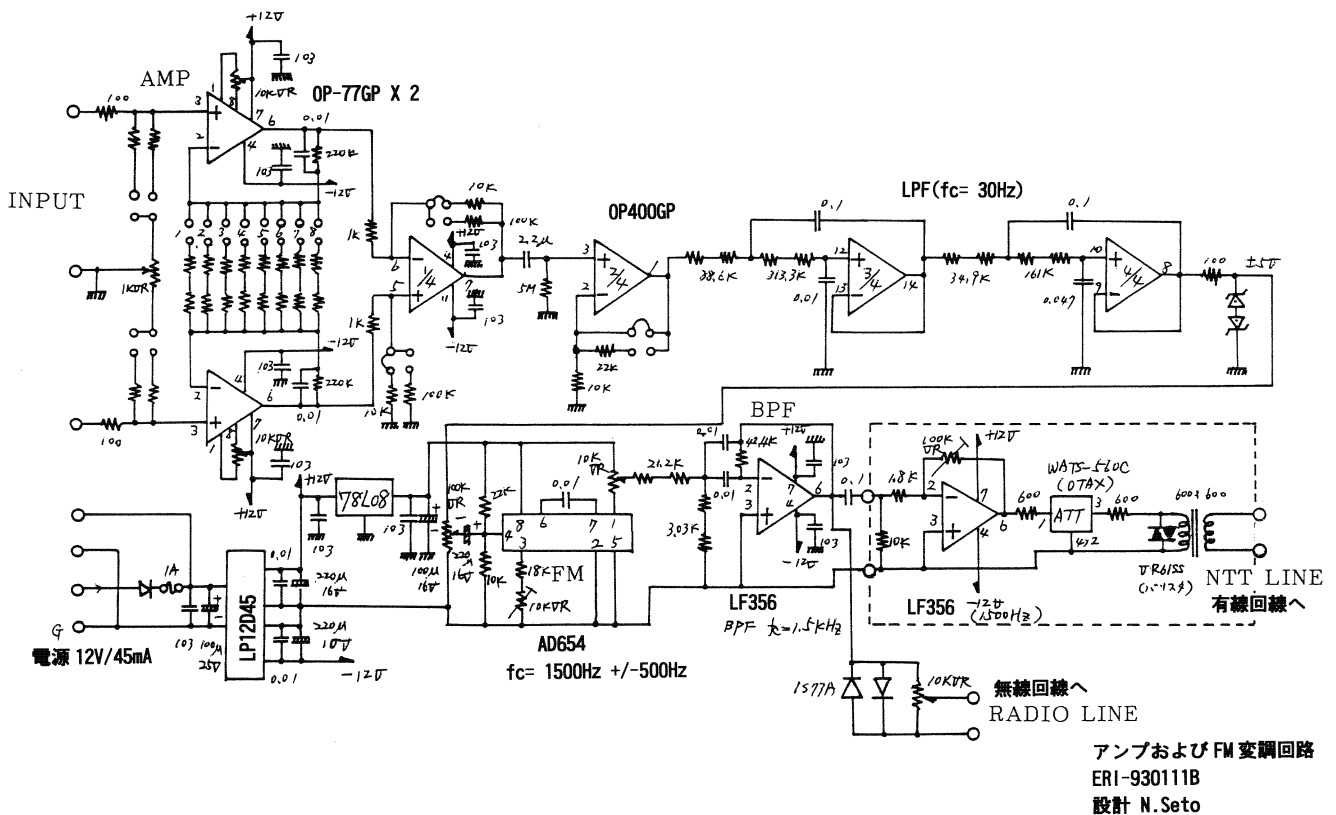


図 2. アンプ及び FM 変調回路

アンプは OP-77、OP-400 GP で構成、FM 変調回路は AD654 を使用した。LPF はバターワース型 (24dB/oct)、有線用として使用する場合は点線内が付加され出力が調整される。無線用は、許可された無線の占有帯域内 (約 8 KHz) に収まるようにサブキャリアのレベルを調整する。

 F_d : 送信機の最大周波数偏移 (Hz) F_i : i 番目のサブキャリアーの中心周波数 (Hz)

F_{di} : i 番目のサブキャリアの最大周波数偏移 (Hz)

F_{mi} : i 番目のサブキャリアの復調器出力における低域フィルタ遮断周波数 (Hz)

B : 受信機の通過帯域幅 = 8,500 Hz (400 MHz 帯周波数用).

ただし, $F_d=2.2\text{ kHz}$.

1チャンネルあたりの変調度 $(A_{oi}/A) \cdot (F_d/F_i)$ はおのこの 0.3 radian に設定されている. $F_{mi}=50$ Hz とする.

受信機の通過帯域における雑音電力を -123 dBm とし、送信出力 1 W 、距離 50 km での受信電力は8素子八木・宇田アンテナを使用した時、約 -78 dBm となる(武田ほか, 1976)。マージンを 20 dB とっても $C/N=25\text{ dB}$ 確保できる。(1)式にこれらの値を代入すると、各チャンネルの S/N は $(25\sim45)+18.5\text{ (dB)}$ となる。これらの結果によると、地震波帯域での総合 S/N は $43.5\sim63.5\text{ (dB)}$ 確保できるこ

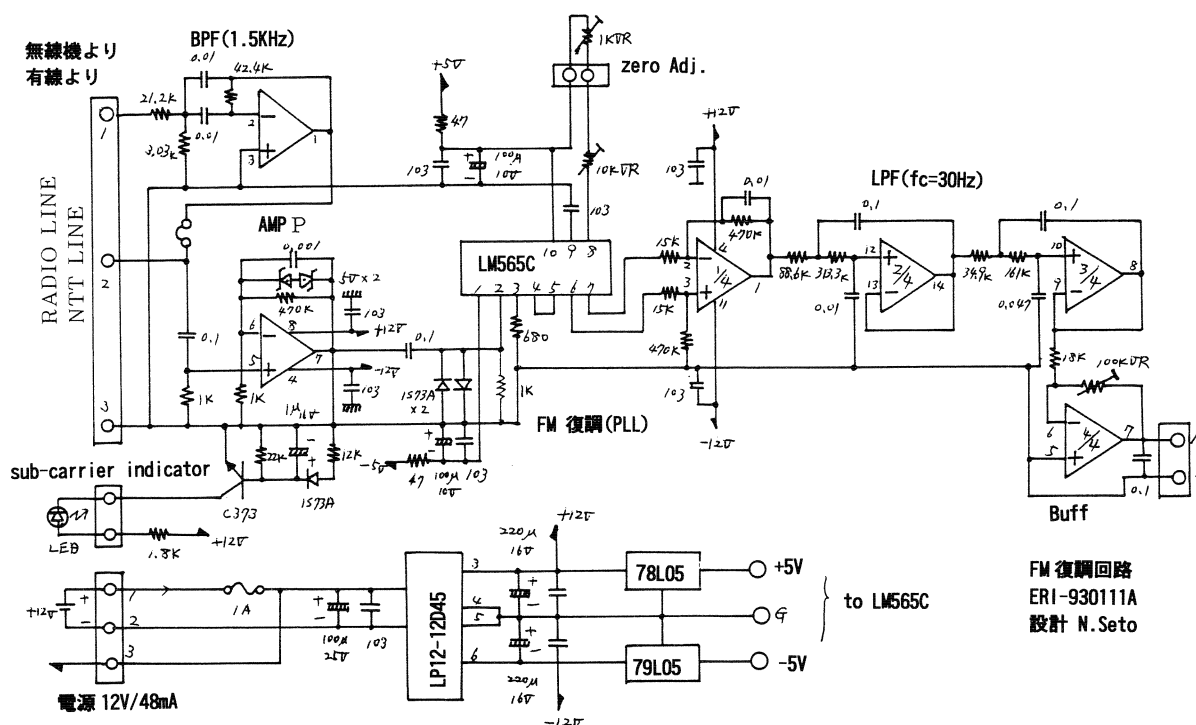


図 3. FM 復調回路

無線機（受信機）および有線回線からのサブキャリアーは一旦 BPF ($f_c=1,500\text{ Hz}$) を通して増幅され、LM565C (PLL 復調) により復調される。さらに LPF を通して出力される。

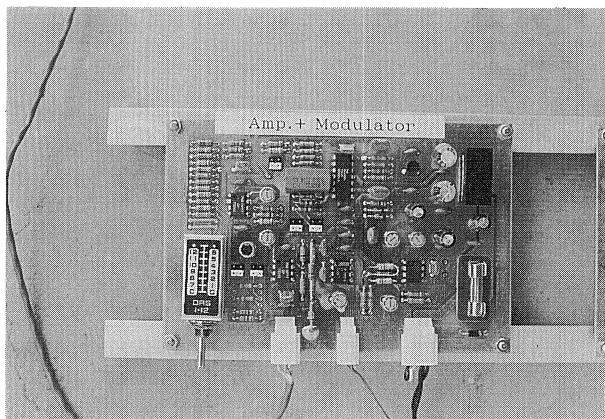


図 4. アンプ・FM 変調器

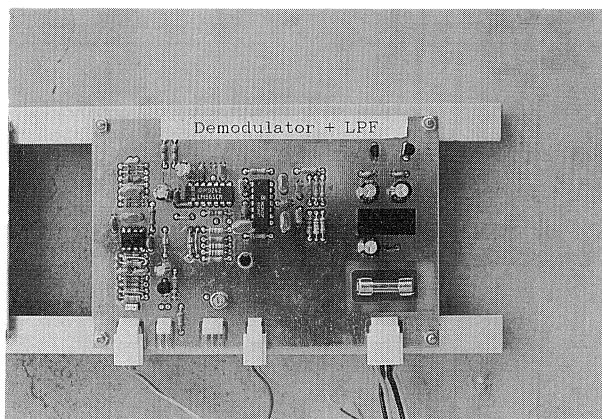


図 5. FM 復調器・LPF

となるが、実際は復調時におけるチャンネル間クロストークの影響を受け 34~40 dB 程度が限度である。すなわち、無線回線の C/N または FM 改善係数に無関係にアナログ回路上の問題（サブキャリアーを分離する BPF の性能）で S/N が決まってしまう。

これに対し、1 チャンネル型のテレメータは、チャンネル間クロストークの影響を除くことができること、サブキャリアーにおける周波数偏移を大きくすることができ、かつ回路が簡単になるという特徴を持つ。このことから、次の条件により改善係数 IFM を計算してみると以下のよ

うになる。

$$F_i = 1,500\text{ Hz}$$

$$F_{di} = 1,000\text{ Hz} \text{ (4 チャンネル型と違うところ)}$$

$$F_{mi} = 50\text{ Hz}$$

$$B = 8,500\text{ Hz} \text{ (400 MHz 帯周波数用)}$$

$$F_d = 2.2\text{ kHz}$$

$$\text{周波数偏移 } (A_{oi}/A) \cdot (F_d/F_i) = 1.0 \cdot 2,200/1,500 = 1.47$$

$$\text{IFM} = 20 \cdot \log \left(\sqrt{3/2} \cdot (A_{oi}/A) \cdot (F_d/F_i) \cdot (F_{di}/F_{mi}) \cdot \sqrt{B/2F_m} \right)$$

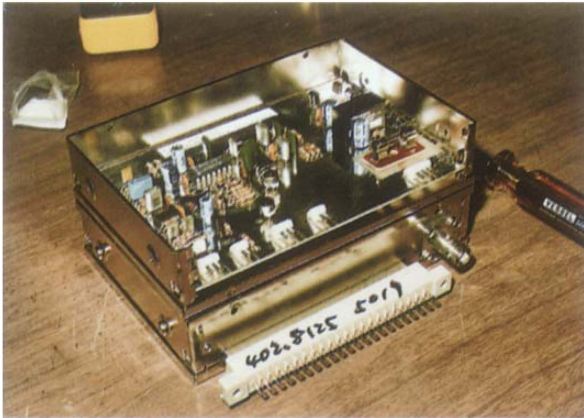


図 6. 1 チャンネル型 FM-FM 無線方式テレメータの受信側システム

上段が復調回路基板，下は無線受信基板。上下とも同じ大きさのケースに収納されている。送信側も同じ構成で，上がアンプ・FM 変調基板，下が送信機の基板。

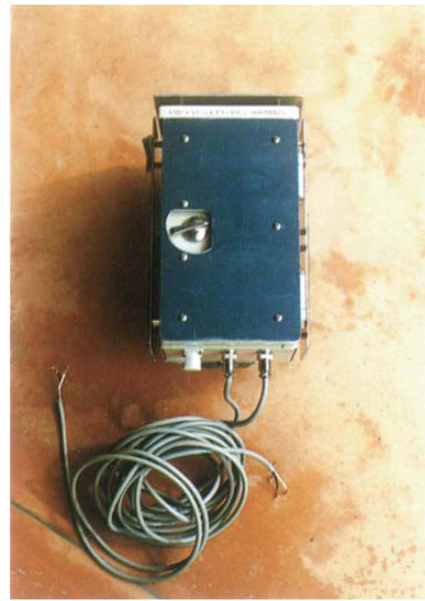


図 8. エジプト仕様の 1 チャンネル型 FM-FM 方式無線送信装置
直射日光を防ぐため，遮蔽板を回りに取り付けている。



図 7. 1 チャンネル型 FM-FM テレメータシステム
左がアンプ・FM 変調器・送信機（400 MHz 帯，1 W），右は受信機・復調器。

$$= 20 \cdot \log (1.225 \cdot 1.47 \cdot (1,000 / 50) \cdot \sqrt{(8,500 / (2 \cdot 50))})$$

$$= 50.4 \text{ (dB)} \quad (3)$$

(2) の結果と比べ，1 チャンネル型のテレメータは約 30 (dB) 以上余計に FM 改善係数を得ることが可能となる。同時に(1)式から地震波帯域における総合の S/N は回線の C/N を 25 (dB) とすれば約 75 (dB) 程度となる。この値は 4 チャンネルのものに比較して約 100 倍，PCM に換算して 12 bit 以上となる。

1 チャンネル型無線テレメータの仕様

図 1 は 1 チャンネル型有線・無線テレメータのブロックダイアグラムである。図 2～9 図はそれぞれ，アンプ・FM 変調器の回路図，復調器の回路図，各基板の写真，受信側システムの写真，送受信（1 対向）システムの写真，放熱板



図 9. 1 チャンネル型 FM-FM 無線テレメータの設置例
アンテナは八木・宇田型 5 素子，その下にアンプ・送信機のボックス。消費電力は約 5 W（年間電力料として約 600 円）。

を持ったエジプト仕様の送信機，国内における送信機設置例である。次に全体の機器の仕様を示す。

- 1) 送信機 周波数：400 MHz 帯の内の 1 波，出力：1 (W)，三協特殊無線製。
- 2) アンテナ（送受信とも） 8 素子八木・宇田アンテナ。
- 3) アンプ・FM 変調器 増幅度：36～78 (dB)，6 dB

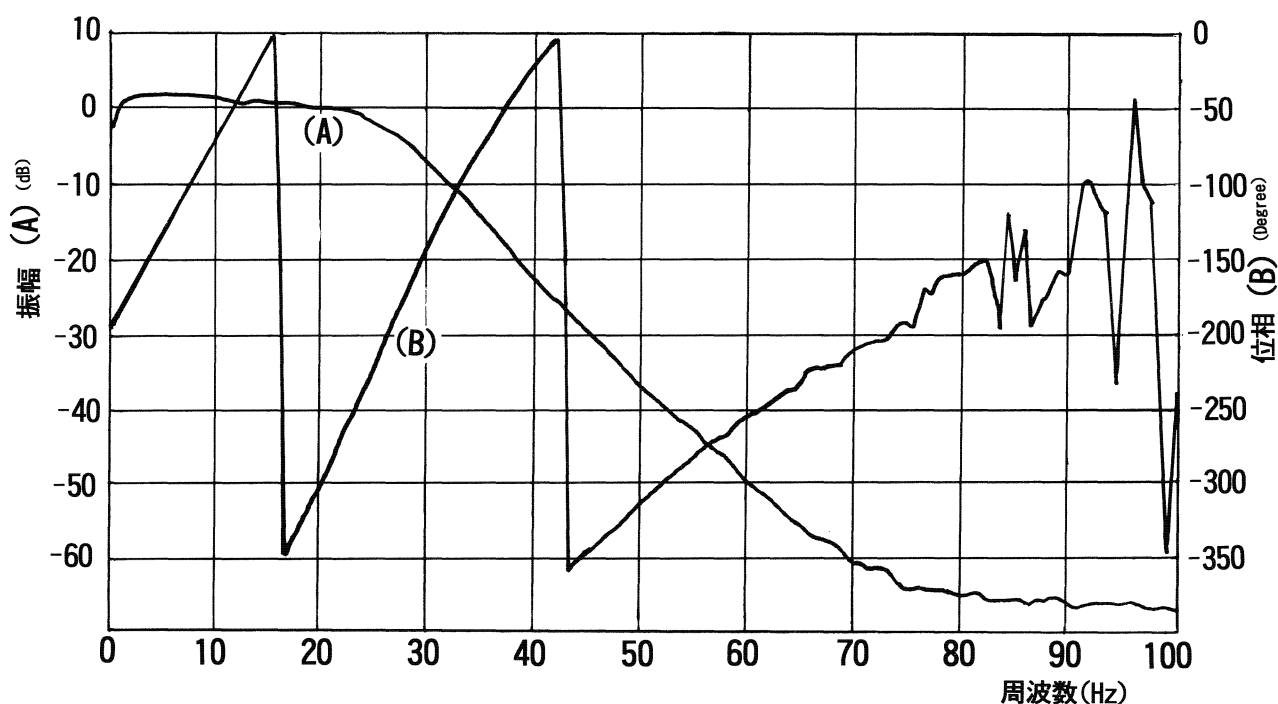


図 10. 1 チャンネル型 FM-FM 無線テレメータの総合振幅・位相特性
横軸は周波数 (Hz), 縦軸は左側が振幅 (A), 単位 (dB), 右側が位相 (B), 単位 (Degree) (FFT による結果).

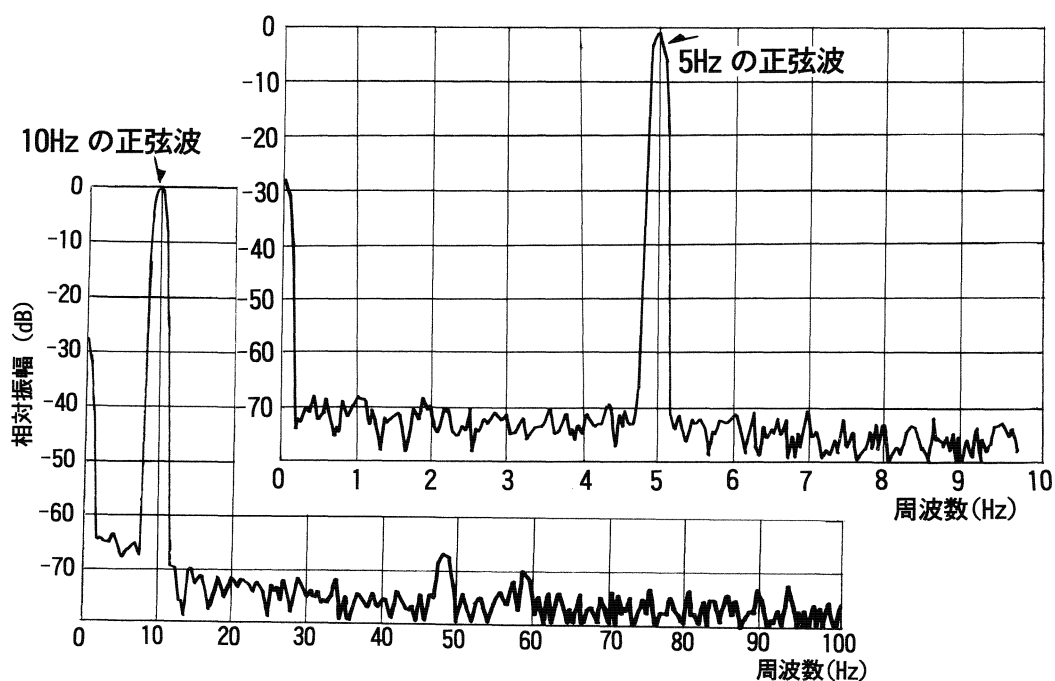


図 11. 1 チャンネル型 FM-FM 無線テレメータの S/N
5 Hz と 10 Hz の正弦波を送信した時の復調部での波形のスペクトラムを FFT により計測した。入力正弦波の歪み (倍調波) は差し引いてある。ほぼ 70 (dB) 以上の S/N を確保しているのがわかる。なお、この時の受信機の電界強度は 15 dB μ (1 μ V を 0 dB として) であった。

単位で可変可能,

LPF : 24 dB/oct, Butterworth 型, $f_c = 30$ Hz,

サブキャリアー : 1,500 Hz \pm 500 Hz.

型名 : ERI-930111 B, 自作.

4) FM 復調器 PLL 回路による復調, 出力 ± 5 V,

型名 : ERI-930111 A, 自作.

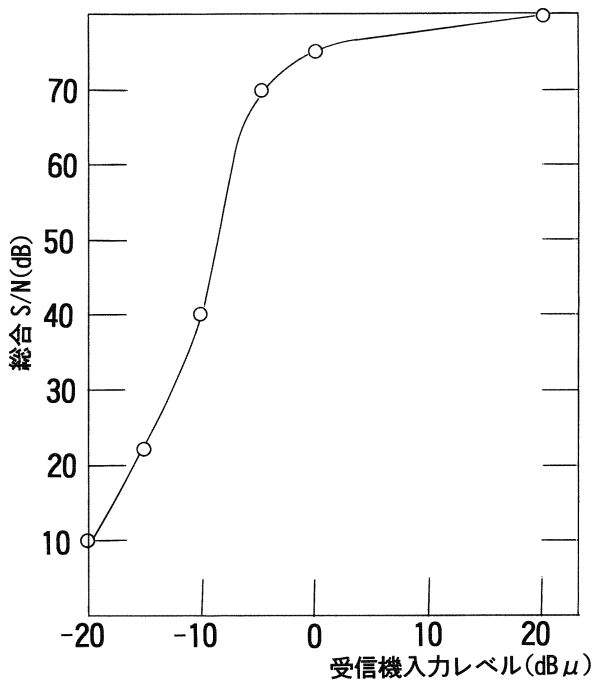


図 12. 1 チャンネル型 FM-FM システムの受信機の入力レベルと S/N との関係 (実測値)
75 (dB) の S/N を確保するための受信機の入力レベルは約 0 (dBμ) である。

5) 受信機 400 MHz 帯の内の 1 波, 三協特殊無線製, 受信感度: 0 dBμ (20 dB S/N 時).

6) 電源 送信側 250 mA/12 V, 受信側 45 mA/12 V, AC/DC 用.

このシステムの周波数・位相特性, 5 Hz と 10 Hz の正弦波のパワースペクトラム, 受信機の入力レベルと総合 S/N との関係については図 10~12 に示した.

1 チャンネル型 FM 有線テレメータ

有線方式による FM テレメータは無線のそれと違い, 比較的思考方が簡単である. この理由は無線回線のような C/N の変動をあまり考慮しなくても良いことである. すなわち, 回線の総合 S/N はその有線回線の帯域 B と FM サブキャリアーの変調度, 比較的変動の少ない C/N (ほぼ一定, 回線固有の値) にのみ依存するからである. S/N の計算は(1)式, FM 改善係数は(4)式による (廿利ほか, 1968).

$$IFM = 20 \cdot \log(\sqrt{3} \cdot (Fd/Fm) \cdot \sqrt{(B/2Fm)}) \quad (4)$$

ここで, Fd: サブキャリアーの最大周波数偏移 1,000 Hz

Fm: 最大変調周波数 50 Hz

B: 有線回線の帯域幅 (300~3,400 Hz) 3,100 Hz

上記定数を(4)式に代入すると, IFM は約 46 (dB) となる. 有線回線のノイズを -50 dBm (回線により異なる) とし, サブキャリアー周波数の受信レベルを -20 dBm ~ -25 dBm とすると, C/N は 25~30 dB となり, 地震波帯域

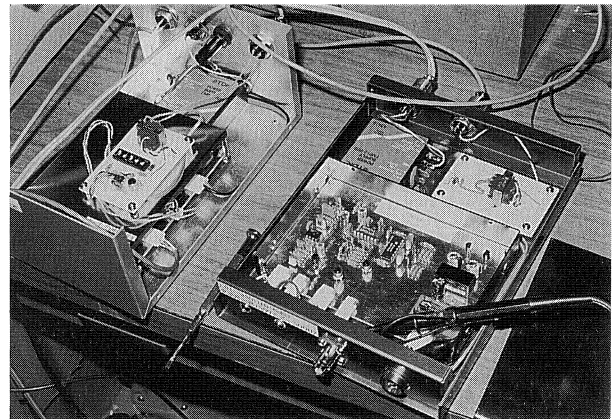


図 13. 1 チャンネル型有線方式テレメータの送信側 (左), 受信側 (右) システム. 電源は DC, AC 任意に選択可能.



図 14. 1 チャンネル型有線方式 FM テレメータシステムの設置例
電源はバッテリーと太陽電池 (30 W) によって賄われる.

での総合の S/N は計算上 71~76 (dB) となる.

FM 方式有線テレメータの回路

アンプ・変調器および復調器はそれぞれ図 2, 図 3 のものと同じである. 有線方式の場合は図 2 の回路中, 点線で囲った部分の回路を付加している. これは回線特性インピーダンス (600 Ω) に合わせるためと, 出力レベルの調整をするためである. 復調回路は無線方式のものと同じである.

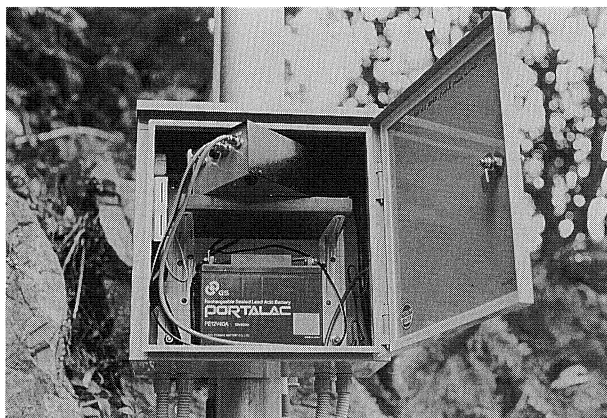


図 15. 図 14 中のバッテリーとアンプ・変調器の部分

FM 方式有線テレメータの仕様

- 1) アンプ・変調器 無線系と同じ(図 2 参照). 有線回路への出力レベルはディップスイッチにより 0 dBm ～ -20 dBm に調整可能.
- 2) 復調器 サブキャリア周波数の入力レベルは -30 dBm まで可能.
- 3) 電源 変・復調とも約 45 mA/12 V, DC または AC 電源.

図 13～15 はそれぞれ送受信システム (1 対向) の写真, 江住観測点における送信機設置例である.

あ と が き

最近のテレメータはほとんどが PCM 化され, 現地に GPS 時計を持つパケットタイプによる伝送方式である. 本報告は PCM システムの時代に沿わないシステムのようにではあるが携帯型の簡易・安価なテレメータとして, その特性を生かしたものである. 現在, 無線による FM-FM 型システムは和歌山市周辺部において 12 点, 三重県における臨時点で 2 点, 有線方式では紀伊半島南部において 5 点稼動中であり, 安定した動作を示している.

謝 辞: このシステムの作製にあたって有益な意見をいただいた山科健一郎助教授, 飯高隆志助手に感謝いたします.

文 献

- 甘利省吾・庄司茂樹代表監訳, 1968, 通信システム工学ハンドブック, ラティス社, 634-635.
- 志津田瑞穂, 1966, SSB・FM 送受信機, オーム社, 13-24.
- 武田 仁・大瀧泰朗・河村幸吉・富岡 優・片山修二, 1976, 陸上移動無線実務ハンドブック, 水橋喜七・武田 仁・大瀧泰朗監修, オーム社, 55-74.