

太陽電池使用無線テレメータ装置

Wireless Telemetry Equipment Using Solar Batteries

松尾 六郎* 遠藤 徹*
Rokurô Matsuo Tôru Endô

要 旨

水資源の有効な活用と洪水による災害を防止するため、河川の利水と治水両面の管理が重要になってきた。本稿では、その管理設備の一環として太陽電池を使用した無線デジタルテレメータ装置について述べる。本装置は利根川の最上流にある水資源開発公団矢木沢ダムに設置され、好調に運転中である。

1. 緒 言

近年、工業の発展と生活様式の向上に伴って、工業用水や上水道用水などの需要が急速に増加している。

反面、台風や豪雨により河川が氾濫(はんらん)したために生ずる災害も大きく治水と利水を目的とした多目的ダムが各所に建設されている。水資源の有効な活用と災害防止のためには、上流の水位、雨量を随時測定して水系の現状をは握する必要がある。

今回矢木沢ダムに納入した無線テレメータ装置は建設省の標準仕様にとりて製作したもので、商用電源の供給が困難な山奥に設置するため太陽電池を使用している。太陽電池の使用に当たっては、経済的な面から平均消費電流を極力少なくすることが必要で、このため待受状態、受信状態、送信状態によって、関係のある回路の電源のみを生かす電源制御回路を設けている。

本装置は過酷な環境で使用されるので、論理回路のトランジスタをシリコン化して周囲温度が -15°C ~ $+50^{\circ}\text{C}$ で安定に動作するようにした。以下、本装置の概要を述べる。

2. 装置の概要

本テレメータ装置は図1のテレメータ系統図に示すように、矢木沢ダム管理所を監視局とし、奈良沢および小穂口に観測局を設置している。

観測局では、水位と雨量を測定し監視局からの呼出により70Mc/s(メガサイクル)帯の無線回線で監視局に伝送する。監視局ではこのデータを顧客が用意したダムサイトの水位、雨量、気温、水温、湿度、日照、気圧とともに表示および印字記録する。

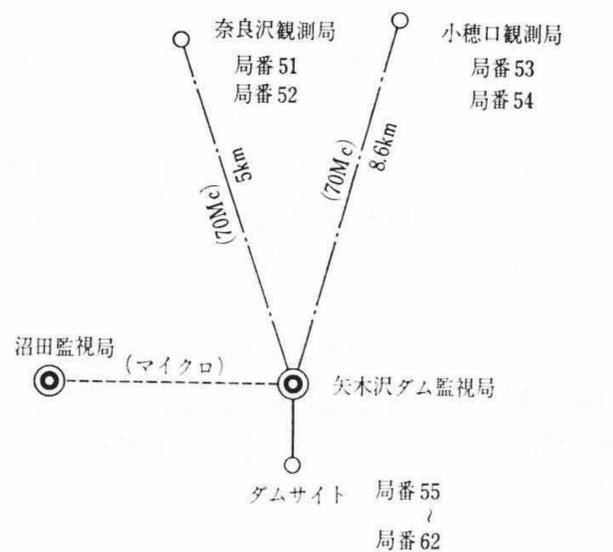
データには図1に示すように51~62の局番が割り当てられ、呼出、表示、記録はすべてこの局番によって処理される。なお、冬期は矢木沢ダムが無人になるので、沼田出張所が監視局となり点線で示された沼田~矢木沢ダム間のマイクロ回線を使用して沼田でデータを収集する。

3. 装置の構成

観測局に設置する装置は、水位計、雨量計、局判別回路、送量回路、無線送受信機、太陽電池などで構成されている。

図2は観測局舎の外観で屋上に太陽電池、雨量計、アンテナが設置されている。また、監視局に設置する装置は、デジタル時計、呼出制御回路、受量回路、印字指令回路、プリンタ、数字表示器、無線送受信機などで構成されている。

図3はテレメータ受量盤、図4は監視機で、机上の左側がデータを印字記録するプリンタ、右側が月日、時刻、水位、雨量などを表示する表示器や、呼出スイッチ、レベルメータ、スピーカ、無線機



局番	測定内容	局番	測定内容
51	奈良沢 水位	57	ダムサイト 気温
52	奈良沢 雨量	58	ダムサイト 水温
53	小穂口 水位	59	ダムサイト 湿度
54	小穂口 雨量	60	ダムサイト 日照
55	ダムサイト 水位	61	ダムサイト 気圧
56	ダムサイト 雨量	62	予備

——— 無線回路
——— 有線回線
- - - - - マイクロ回線

図1 矢木沢ダムテレメータ系統図

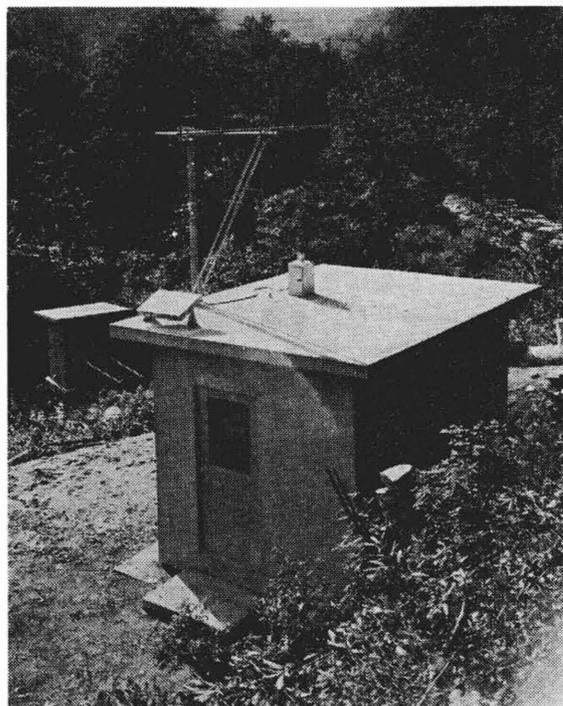


図2 観測局舎

のスケルチ調整などを配置した監視操作パネルである。

呼出、送受量回路、無線送受信機はトランジスタを主体として構成し、耐圧を要する回路にワイヤスプリングリレーを使用している。

4. 装置の動作

図5のブロックダイアグラムにより呼出、計測、データの送受量

* 日立製作所国分工場

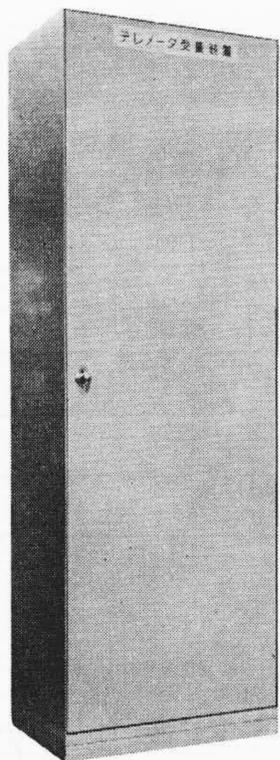


図3 テレメータ受量盤

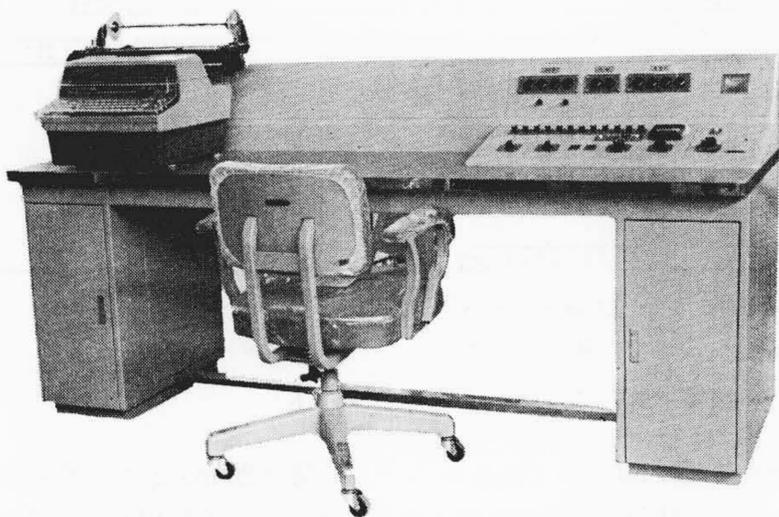


図4 監視機

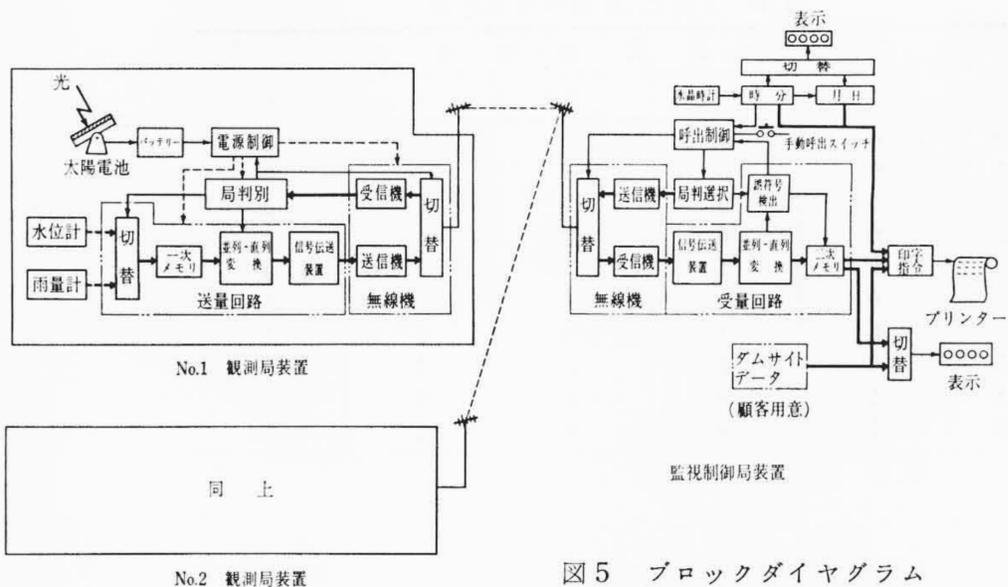


図5 ブロックダイアグラム

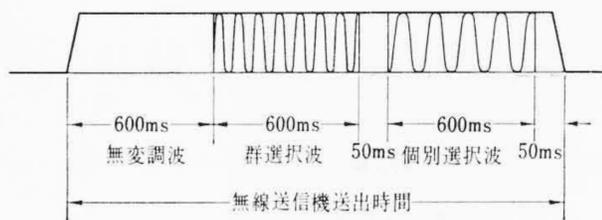


図6 呼出信号波形

表1 群および個別選択周波数表

a. 群選択周波数				b. 個別選択周波数	
符号	周波数 (c/s)	符号	周波数 (c/s)	符号	周波数 (c/s)
A ₁	487.5	A ₆	562.5	A ₁₁	637.5
A ₂	502.5	A ₇	577.5	A ₁₂	652.5
A ₃	517.5	A ₈	592.5	A ₁₃	667.5
A ₄	532.5	A ₉	607.5	A ₁₄	682.5
A ₅	547.5	A ₁₀	622.5	A ₁₅	697.5
				B ₁	412.5
				B ₂	427.5
				B ₃	442.5
				B ₄	457.5
				B ₅	472.5

表2 局番周波数対照表

局番	群選択周波数 (c/s)		個別選択周波数 (c/s)	
51	A ₇	577.5	B ₁	412.5
52	A ₇	577.5	B ₂	427.5
53	A ₇	577.5	B ₃	442.5
54	A ₇	577.5	B ₄	457.5

動作について述べる。

4.1 呼出方式

観測局の呼出には次の3種類があり、平常時緊急時などにより随時選択使用される。

(1) 自動全局呼出方式

時計からの信号で自動的に起動し、全観測局をあらかじめ定められた順序に従って連続して呼び出す方式である。呼出間隔は12時間、3時間、1時間、30分、15分、10分のうちから任意に選択される。

(2) 手動全局呼出方式

手動起動により全観測局をあらかじめ定められた順序に従って連続して呼び出す方式。

(3) 手動個別呼出方式

手動起動により任意に選択した1個所の観測局を呼び出す方式。

4.2 呼出

時計または手動により呼出制御回路を起動すると待受状態にある無線機は送信に切り換えられ、局番選択信号で変調されて観測局を呼び出す。局番選択信号は図6に示すように群選択信号と個別選択信号をそれぞれ600ms送出する直列送出方式である。

群選択信号周波数は地域によって表1のA₁~A₁₅の中から何波かが割り当てられ、個別選択信号周波数は局番順にB₁~B₅の中から割り当てられる。

本装置の無線観測局は奈良沢水位局、同雨量局、小穂口水位局、同雨量局の4局で表2の局番~割当周波数対照表に示すとおり、A₇とB₁~B₄が割り当てられている。

群、個別信号周波数発振器には圧電音さを使用している。

無線機はプレストーク方式であるから呼出信号の送信が終了すると受信機に切り換えられ、観測局よりのデータを待ち受ける。

各観測局は待受状態にあるが局判別回路で自局が呼び出されているかどうか判別する。自局が呼び出されていない局は待受状態を継続し呼び出された局は電源制御回路が作動して無線送信機と送量装置に電源を投入しデータを返送する。

局判別回路は群および個別選択信号のみを通すフィルタで発振器と同様圧電音さを使用している。圧電音さは共振特性が鋭くかつ適当な立上り時間をもっているため雑音の影響を受けにくい。その反面温度変化による圧電音さの共振周波数変動に伴って受信レベルが変動する欠点がある。

一般に監視局は有人であるから温度変化が少なく、観測局は山中であるため温度変化が激しいのでレベル変動対策を考慮する必要がある。

本装置では、この対策として発振用に狭帯域の単純音さを、受信用には2個の単純音さを組合せてスタガ同調回路を形成する複合音さを使用し、温度変化によって共振周波数が変動しても十分バンド内にはいるようにしている。

表3 2進化10進符号対応表

10進数	2 進 化 10 進 符 号				
	8	4	2	1	P
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1

表4 副搬送波周波数表

使用順位	副搬送波 (c/s)
1	2,635
2	2,465
3	2,295
4	2,125
5	1,955

表5 長短パルス波形

符号	パルス	波 形
1	長	
0	短	

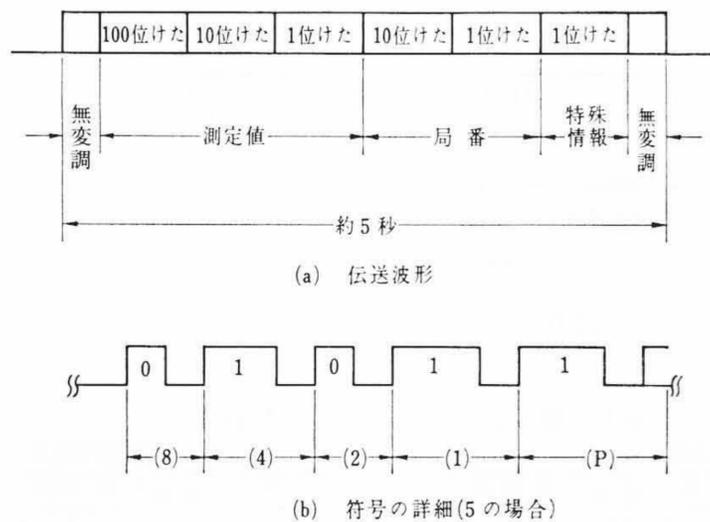


図7 伝送波形

実測結果によれば、発振回路と受信回路に40°Cの温度変差があっても正常に動作している。

4.3 水位雨量の計測

水位計は本体、フロート、カウンタウェット、テープよりなり、測水孔に浮べたフロートが水位の変化に伴って上下し、テープを介して計測部のプリーが回転する。これに連動するA/D変換部では、プリーの回転を10進法の0~9に相当する2進化10進符号に変換する。この符号は表3に示すように各けたとも1, 2, 4, 8とパリティビット「P」の5ビットで構成されている。

雨量計は受水部と計量部よりなり、受水部で集水した雨水を計量部内の転倒ますに導き降雨量1mmごとに転倒ますを転倒させて水銀接点をメークする。

この接点でカウンタを歩進させ水位計と同様の符号を構成する。

4.4 データの送受信

(1) 観測局の動作

表2に示すように、同じ観測局でも水位と雨量は局番が異なるので、局番によって水位または雨量が選択される。選択されたデータは送量中変化しても誤信号とならぬよういったん一次メモリに記憶される。記憶されたデータは並列直列変換回路により図7のように高位けたから、また各けたは8, 4, 2, 1, Pの順で局番, 特殊情報とともに表5の「1」「0」符号を長短パルスに対応させ、時間的に直列なパルストレーンに変換する。

特殊情報は現在使用中の電源が商用か予備かを10進数の1, または0で監視局に知らせるものである。本装置では常に太陽電池を使用しているから特殊情報は10進数の0すなわち「00001」コードである。パルストレーンは信号伝送装置でFS変調され、さらに無線送信機でFM変調されて監視局に伝送される。

信号伝送の副搬送波も地域別によって定められており表4の中の1波を使用する。本装置の周波数は2,635±35 c/sである。信号

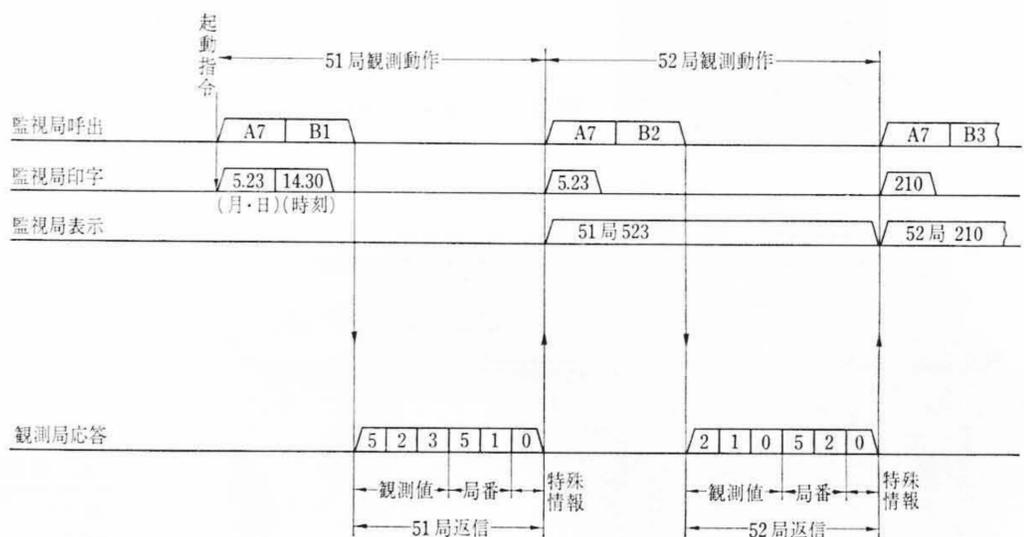


図8 タイムチャート

伝送装置は50ボーであるからパルス幅は20msまで伝送可能であるが、建設省標準では表5のように短パルスを40ms, 長パルスを120msとしている。これは伝送スピードを多少犠牲にしても、パルス割れ, パルス伸縮による信号誤りを少なくして確実な伝送を期すためである。

観測局では一連のデータ送信が終了すると送信に切替えていた無線機を再び待受状態にもどす。なお、万一送信切換リレーが溶着すると送信のまま受信にもどらなくなりほかの観測局の観測が不能になるので、30秒以上送信を継続すると強制的に無線機の電源を切ってこの事故を防止している。

(2) 監視局の動作

監視局では観測局を呼び出すとただちに受信に切替え、観測局からの無線信号を受信して復調し、さらに信号伝送装置で直流の長短パルスに変換する。

次いで、直列並列変換回路で「1」「0」の並列符号に変え、誤符号検出回路でパルス総数, 奇数パリティ, 局番照合チェックを行ない正しければ二次メモリに移し変える。

もし、符号誤りがあれば呼出制御回路を再び起動して同一観測局を呼び出す。3回呼出しても正常でない場合は警報し次局の呼出に移行する。

二次メモリに記憶されたデータはプリンタで印字記録されるとともに次局データを受信するまで数字表示管で表示する。

呼出およびデータ伝送のタイムチャートを図8に示す。呼出に要する時間は約2秒, データ伝送は約5秒である。

本装置の呼出および記録に使用している時計装置は日差1秒以下の水晶時計を親時計として、24時間の時分と1年間の月日を構成している。このため記録紙の途中で月日に変更になっても作表上の不便がない。

月日は4年に1回2月を調整するのみで毎月末の調整は不要で

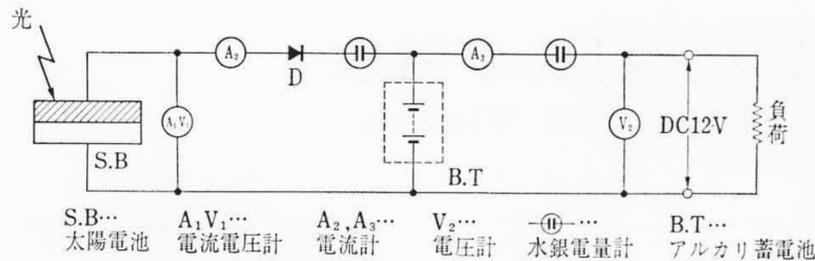


図9 太陽電池ブロックダイアグラム

ある。時分はデータの表示器とは別にデジタル時計として表示され、月日も時分と切換えて表示できるよう考慮されている。

5. 観測局電源

さきに述べたとおり、観測局はダムサイトよりさらに数 km 山奥で商用電源が得られないので、太陽電池を使用して日照時間中アルカリ蓄電池に充電し、フローティングで負荷に供給している。図9はそのブロックダイアグラムである。

本装置には DC12V 1 電源を使用する。

5.1 電源制御

消費電力の大小は直接太陽電池の容量、すなわち経済性に影響するので、下記のように待受、受信、送信の3段階に分けて電源を切り、消費電力の節減を図っている。

(1) 待受

平常この状態にあり、待受時の電流が太陽電池の容量にもっとも影響するので、無線受信機のスケルチを作動させる部分のみの電源を生かす。そのほかの論理回路、信号伝送装置などの電源はすべて切られている。このときの電流は約 8 mA である。

そのほか、1 mm 降雨ごとに 0.1 秒間計量部のカウンタが付勢され、900 mA 消費される。

(2) 受信

監視局よりの呼出電波を受信するとスケルチが作動して受信機のほかの回路と局判別回路の電源を生かす。

このときの電流は約 200 mA である。

(3) 送信

局判別回路で自局が呼び出されたことが確認されると、無線送信機、信号伝送装置、送量回路の電源を生かす。

このときの電流は約 1,700 mA である。

5.2 平均消費電流

1 日の平均消費電流は次式によって計算される。

$$I_0 = I_1 + \frac{1}{24} \{ (I_2 - I_1) \cdot T_1 \cdot N_1 + (I_3 - I_1) \cdot T_2 \cdot N_2 + I_4 \cdot T_3 \cdot N_3 \} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、 I_0 : 1 日の平均電流 (mA)
- I_1 : 待受時の電流 \doteq 8 (mA)
- I_2 : 受信時の電流 \doteq 200 (mA)
- I_3 : 送信時の電流 \doteq 1,700 (mA)
- I_4 : 雨量計の電流 \doteq 900 (mA)
- T_1 : 1 回の受信時間 \doteq $\frac{2}{3,600}$ (h)
- T_2 : 1 回の送信時間 \doteq $\frac{5}{3,600}$ (h)
- T_3 : 雨量計の動作時間 \doteq $\frac{0.1}{3,600}$ (h)
- N_1 : 1 日の受信回数
- N_2 : 1 日の送信回数
- N_3 : 雨量計の 1 日の動作回数

1 日の呼出回数を 15 分に 1 回の自動呼出および 10 回の手動呼出とすると $N_2=106$ 、ほかの観測局が呼び出される場合も受信回路は

動作するので $N_1=2N_2=212$ 、となる。

また 1 日 50 mm の降雨量があったと仮定して、 I_0 を求めると

$$I_0 \doteq 20 \text{ mA}$$

である。

5.3 太陽電池の概要と容量決定

太陽電池は太陽の光エネルギーを直接電気エネルギーに変換するもので、夜間および雨天など無日照時も使用できるよう、図9のように蓄電池と組合せ、日照時間中は蓄電池に充電する。

太陽電池のモジュールはメタアクリル樹脂ケースの中に直径 23 mm の素子 20 個を内蔵し、10 個直列、2 個並列に接続されている。このモジュールの開放電圧は 5.5 V 以上、短絡電流 90 mA 以上、最適動作電圧 4.2 V、最適動作電流 80 mA、出力 360 mW である。

太陽電池の容量は負荷の消費電流と単位モジュールの充電量によって決まる。単位モジュールの充電量は日照時間、温度などにより著しく変わるので設置場所によって考慮し次式によって太陽電池の容量を決める。

$$P_a = \frac{I_0}{C} \cdot K_1 \cdot K_2 \dots\dots\dots (2)$$

$$P_w = P_a \cdot S_i \cdot P_c \dots\dots\dots (3)$$

- ここに、 P_a : モジュール並列個数
- I_0 : 負荷の消費電流 = 20 mA
- C : 設置場所におけるモジュール 1 個当たりの毎時充電量
- K_1 : 蓄電池の AH 効率補正係数 = 1.11
- K_2 : 安全係数
- P_w : 太陽電池容量 (W)
- S_i : モジュール直列個数 = $\frac{\text{充電電圧}}{\text{最適動作電圧}} = \frac{15.5}{4.2} \doteq 4$
- P_c : モジュール 1 個当たりの出力 = 0.36 (W)

上式中 C の実測データは事前に得られないので前橋のデータを理科年表により求め、これより類推して 10 mA とした。

(2), (3) 式に代入して P_a, P_w を求めると

$$P_a = 3 \dots\dots\dots (4)$$

$$P_w = 4.32 \text{ (W)} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

6. 結 言

以上、無線テレメータ装置について述べたが、本装置の性能は建設省の標準仕様を満足し、次の特長をもっている。

- (1) 太陽電池の使用により山間僻(へき)地などにも設置できる。
- (2) 論理回路をシリコントランジスタで構成しているため、周囲温度 $-15^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ で安定に動作する。
- (3) 呼出の発振に狭帯域の単純音さを、受信用フィルタに複合音さを使用しているため観測局と監視局に温度差があっても正常に動作する。
- (4) 1 年間の月日構成回路を設けているので作表に便利である。この月日構成回路は 4 年に 1 回 2 月の調整を要するのみで毎月末に調整する必要はない。
- (5) 複数の監視局からの呼出が可能である。

水資源の有効な活用と災害防止のための河川管理がますます重要になっているおりから、本装置の果たす役割は大きく今後ダム、河川などへの適用が期待される。

参 考 文 献

- (1) 河野, 松尾: 日立評論 48, 468 (昭 41-4)
- (2) 建設省: テレメータ標準仕様書
- (3) 東京天文台編: 理科年表