

自立型災害監視ステーションの設計とその性能評価

Design and Performance Assessment of Stand-alone Disaster Monitoring Station

山地 宏志 HIROSHI YAMACHI

戸村 豪治 GOJI TOMURA

大津 慎一 SHIN-ICHI OOTSU

斜面崩壊等の地盤災害の監視を目的に、太陽電池とパケット通信機能を備えた自立型防災監視ステーションを開発した。このシステムには、不安定な太陽光発電条件下でも、安定した監視を行うことを目的に充・発電状況のモニタリングと、消費電力の遠隔操作、ならびに測定機器保護のための自動停止・再起動の機能等を整備した。いくつかの試験運用を実施し、システムが設計どおりの機能を発現することを確認するとともに、電力網・通信網の整備が困難な地点における自立型防災監視に適したシステムであると判断した。

キーワード：自立型防災監視ステーション，太陽光電池，パケット通信

The authors developed a stand-alone disaster monitoring station equipped with photovoltaic cell and packet communication tools for inspecting ground disaster. Monitoring function of power generation and charge, remote control function for power consumption and automatic shutdown and reboot function for protection of measuring devices are applied to the system in order to conduct stable inspection under instable photovoltaic condition. Through a few proof operations this system was verified to show a performance according to design concepts. And it was demonstrated that this station is judged that it is stable for a stand-alone disaster monitoring station where are difficult to maintain power grids or communication networks.

Key Words: Stand-alone Disaster Monitoring Station, Photovoltaic Cell, Packet Communication

1. はじめに

地盤工事の多くは、斜面崩壊や山腹崩落の危険性が高い地域、もしくは隣接して行われることが多く、工事中の地盤災害モニタリングを適切に行うことが、工事の安全管理上、重要となる。また、完成後の運用時にも、そのモニタリングを委ねられる場合もある。

しかしながら、地盤災害が懸念される箇所は、その地形・地理的な制約から、電力・通信網が整備されていない場合が多いため、災害モニタリングのために多大なコストを費やして、これらのインフラを整備することが求められる。

このような現状を鑑み、筆者らは外部の電力供給と通信網に依存することなく、地盤災害の監視が可能な、自立型災害監視局を設計し、いくつかの実務に適用している。本稿は、その設計概念と実際、およびそのシステムの発電・蓄電特性の実際について取りまとめたものである。また、本稿は平成22年度(財)日本建設情報総合セ

ンター研究助成事業「自立型防災監視システムの開発に関する研究(助成番号 第2010-08号)」の成果の一部を取りまとめたものである。

2. 自立型災害監視局の機能設計とその実装

(1) 自立型災害監視局の要求性能

地盤災害の監視は、太陽光発電に適した地点だけで行われるのではなく、日照時間の短い北向き斜面等でもその実施を余儀なくされる場合もある。したがって、防災監視局の発電・蓄電機能の設計に当たっては、限られた時間帯に太陽光セルが発電した電力を、蓄電池等に有効に貯蔵し、これを未発電時間帯に有効に利用する制御ことを考えなければならない。ところが、どのように効率的に発電・蓄電過程を制御したとしても、蓄電できる電力には限界があり、天候上の悪条件が数日も続くような場合、消費電力そのものを制御することも必要となる。すなわち、発電量・蓄電量をモニタリングし、計測

データサンプリング頻度や通信回数を制御することで消費電力を制御する機能が必要になる。

消費電力の制御方式は、種々、提案されているが制御のために融通できる電力量が限られるため、ここでは発電・蓄電電力量を、常時、モニタリングし、適宜、外部から消費電力を制御する方式を採用することとした。

通信により消費電力を制御するためには、双方向のデータ通信が可能な通信方式を選択し、これに連動して測定・通信頻度を制御することのできる機構を設計・実装する必要がある。

本研究では、データ通信方式として携帯電話回線網を利用したパケット通信を採用した。これは、携帯基地局がほぼ全国で整備されたことにより、安定した一律な双方向データ通信サービスが受けられること、ならびに初期投資が不要で通信費用も低く抑えられるためである。また、パケット通信の特性として、データを小さなまとまりに分割して一つ一つ送受信し、分割したデータの経路選択を柔軟に行えるため、一部に障害が出ても他の回線で代替できるという利点にも着目したものである。

以上の要求性能を基に、これを安価で一定の信頼性を持って設計・実装するため、その部品には可能な限り市販製品を利用し、必要な回路のみを自作するものとした。

(2) 電源部・蓄電部の検討と機器選定

電源部は太陽電池による発電部と、その発電電力を蓄積する蓄電部、ならびに発電・蓄電を効率的に制御する制御部から構成される。

自家発電装置には、自然エネルギー発電のうち、最も多く使用され、安定した稼働実績のあるシリコン太陽電池を採用した。シリコン太陽電池は、太陽の光エネルギーを吸収して直接電気に変えるシリコン半導体であり、この半導体に光が当たると、日射強度に比例して発電する。

このタイプの太陽電池は、電気的な性質の異なる2種類（p型、n型）の半導体を図-1のように重ね合わせた構造を持ち、太陽電池に太陽の光が当たると、電子(-)と正孔(+)が発生し、正孔はp型半導体へ、電子はn型半導体側へ引き寄せられるため、表面と裏面の電極に負荷を接続すると電流が流れる。

災害監視を実施するうえでの電力消費源は、測定機器、データロガー、通信機器、ならびに蓄電池充電であり、5W程度の発電能力があれば十分と試算されたが、将来的な多用途化、ならびに天候に起因する不確実性を考慮して20Wの太陽光パネルSSJ20（シェルソーラージャパン社製）を採用した。当該太陽電池パネルは太陽電池

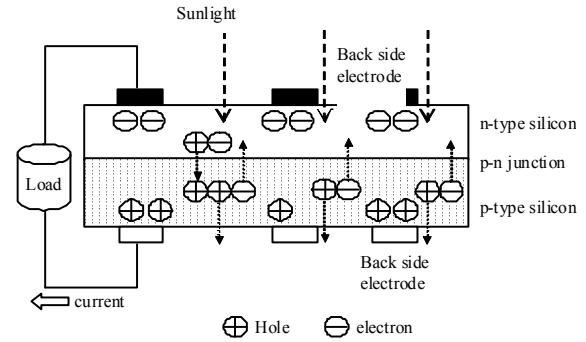


図-1 シリコン太陽電池の発電原理

表-1 太陽電池パネル SSJ20 の仕様

公称最大出力 (Pm)	20[W]	90% 以上 (JIS)
公称最大出力電流	1.18[A]	
公称最大出力動作電圧 (Vpm)	17.0[V]	
公称短絡電流 (Isc)	1.25[A]	90% 以上 (JIS)
公称開放電圧 (Voc)	21.6[V]	± 10%(JIS)

表-2 制御弁式鉛蓄電池 PE12V17 の充電仕様

Charging Method		Constant Voltage
25℃ Fixed Constant Voltage		2.425±0.025V/cell
Temp.Coefficient		-5mV/℃・cell
ChargingTime	from 50% discharge	8hour
	from 100% discharge	10hour
Max./Current		0.25CA
Ambient Temperature		0 ~ + 40℃

素子に多結晶シリコンセルを、表面ガラスには光の透過率特性の良い熱処理（強化処理）ガラスを使用するものである。表-1に太陽電池パネルSSJ20の仕様を示す。一方、蓄電池としては充放電管理が容易で、屋外での使用実績も豊富な小型制御弁式鉛蓄電池を蓄電池として採用し、その充放電方式を設計・実装するものとした。

鉛蓄電池は、正極（陽極板）が二酸化鉛、負極（陰極板）が海綿状の鉛で構成され、電解液として希硫酸を用いた二次電池であり、電解液中の硫酸イオンが正極・負極の双方に移動することで放電を行う。

他の蓄電池に比べて大型で重く、希硫酸を使うために漏洩や破損時に危険が伴うが、公称電圧は単セル当たり2Vと、比較的高い電圧を取り出すことができ、電極材料の鉛も安価である。また、短時間の大電流放電や長時間の緩放電に対しても安定した性能を持ち、アルカリ蓄電池類の弱点であるメモリ効果がない。また、小型制御弁式の場合、液量の点検や補水が不要なため、山間部等に長期間定置する電池として適切と考えた。以上より、システムには、制御弁式鉛蓄電池PE12V17（ジーエス・

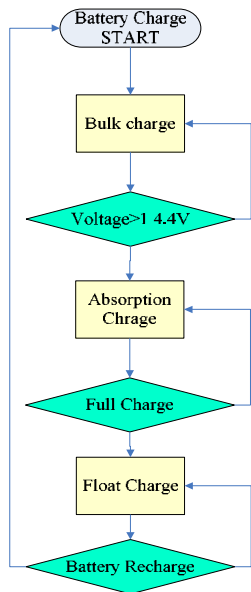


図-2 SUNSAVER-6の充電フロー

ユアサ・コーポレーション社製)を採用した。その充電仕様を表-2に示す。

(3) 充放電制御と発電・充電電力測定

現在、蓄電池の充放電コントロール方式は、種々に提案されているが、太陽電池で発電された微小な電力を、逸散することなく消費、あるいは充電するため、バルク-吸収-フロート充電方式の3段階充電方式を採用した。各充電方式の概要は以下のようなものである。

- ①バルク充電方式：電流を調節し、電圧を調節しない充電方式であり、ガス化寸前の電圧（通常 14.4V）に達するまでは定格出力で充電を行う。したがって、急速充電が可能であるが、バルク充電では満充電に達することはない。
- ②吸収充電方式：電流と電圧の両方を調節する充電方式であり、バルク充電と組み合わせて利用される。すなわち、バルク充電終了後、電圧が設定閾値を超えると、電流を制限し、電圧を定電圧に保つことで、残された20%程度の電流を吸収 (absorb) し満充電に向けて充電する。
- ③フロート充電：満充電になると電流が充電器内のバイパス回路を通してバッテリーへの負担をゼロにする。すなわち、電圧が作用しても、電流がゼロのため、蓄電池に負荷を掛けずに、浮動電圧値を正確に保持することができる。

本システムでは、上記の3段階充電方式を実現した太陽電池コントローラSUNSAVER-6を使用した回路を構築

表-3 チャージコントローラ SunSave-6 の仕様

Control	Charge-Discharge control
System voltage	12VDC
Maximum input voltage	25VDC
Solar input current	6A
Load current	6A
Charging method	PWM
Charging voltage 1	14.4V (type rehydration)
Load shedding voltage	11.5V load shedding
Load reconnect voltage	12.6V
Accuracy	30 ~ 80mV
Regurgitation	10μA
Ambient temperature range	-40 ~ 85 °C
Quiescent power	8 ~ 10mA
Temperature compensation	-28mV / °C
Size (mm)	152mm × 55mm × 33mm
Weight	230g

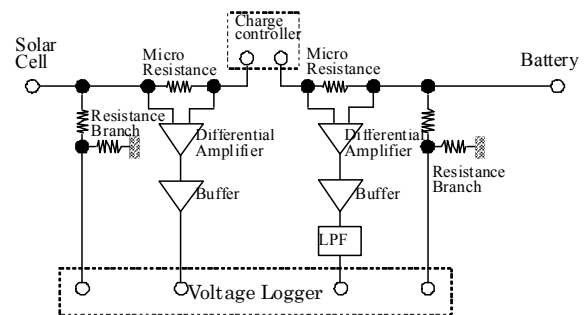


図-3 発電および蓄電の電圧・電流測定回路

することとした (MorningStar社製)。SUNSAVER-6の各充電過程の具体的な制御を図-2に示し、その仕様を表-4に示す。

一方、図-1の太陽光セルの発電機構、および表-2の蓄電池の充電仕様から、充電コントローラ-太陽光セル間、および充電コントローラ-蓄電池間を図-3のように分岐し、電圧・電流測定のための回路を自作した。この回路では、電流を安定化のために分割した抵抗を介して電圧ロガーで測定する。また、電圧は微小抵抗の両端の電圧差を作動アンプにより検出し、バッファを介して電圧ロガーに接続することで測定する。なお、蓄電池側の電圧は高周波成分を除去するためロー・パス・フィルタ (LPF) を接続した。したがって、当該回路ではドリフト等は原理的に発生しない。

(4) データ処理・通信処理機構の設計

観測データの処理に供するデータロガー、ならびにデータ通信機器は、今日種々の機器が各社より提供されているが、太陽光発電により稼働できる省電力タイプで、レンタルが可能であることなどの理由から、共同研究者

表-4 NetLG-402 の仕様

入力	入力チャンネル数	電圧 4チャンネル		
	入力レンジ	±120mV	±2.5V	0 ~ +5V
	最小分解能	3.81μV	0.095mV	0.191mV
	許容電位	0 ~ 5V		
出力部	用途	センサへの電源供給制御		
	出力数	4系統		
	接点容量	DC30V/100mA (Max)		
	ON抵抗	2Ω以下		
通信	接点寿命	半永久		
	用途	ネットワークへの接続用		
	ポート数	1ポート		
	使用コネクタ	ML-1500-UJ (サトーパーツ)		
電源	適合コネクタ	ML-1500-P (サトーパーツ)		
	外部電源	DC5V ~ 15V 待機時消費電流		
	待機時消費電流	0.1mA以下 (平均)		
	パルス測定時	25mA以下 (約1秒間)		
	アナログ測定時	100mA以下		
動作温度範囲	通信時消費電流 35mA以下			
	動作温度範囲 -20℃ ~ 55℃			

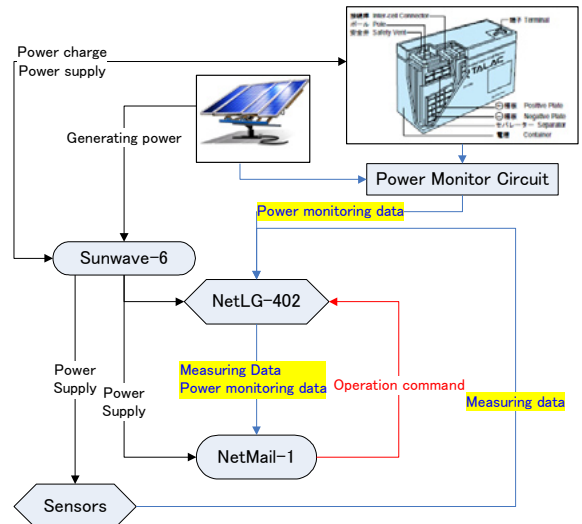


図-4 自立型地盤災害監視局システム系統図

表-5 NetMAIL-1 の仕様

一般仕様	
電源電圧	外部電源 DC10V ~ 15V
消費電流	待機時: Max.20mA 無線部送受信時: Max.450mA
使用温度範囲	-20℃ ~ +55℃
機能関係仕様	
観測インターバル	5分 ~ 1日
観測メールアドレス数	10
警報メールアドレス数	20
無線部仕様	
対応サービス	au CDMA 1x
使用周波数	800MHz帯
通信速度	最大14.4kbps
適合規格	ARIB STD-T53 準拠
その他	
入力接点	8個
入力電流	約1.3mA
出力接点	2個
出力容量	60V / 200mA

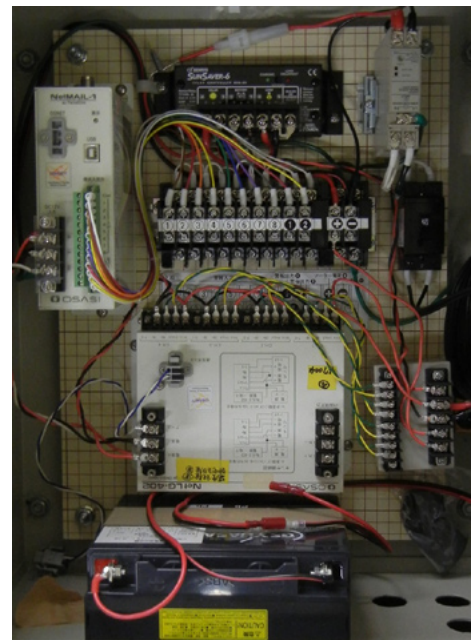


写真-1 制御版内機器実装状況

(自立型防災監視システムの開発に関する研究(助成番号 第2010-08号))の一人が開発したネットワーク・ロガー NetLG-402, およびパケット通信システム NetMAIL-1を採用した。

ネットワーク・ロガー NetLG-402は、電圧信号4チャンネルを測定し、内部メモリに記録を行うデータ集録装置であり、ネットワーク用通信ポートを備える。電圧入力レンジには±120mV, ±2.5V, 0 ~ +5Vの3種類が用意されており、ほとんどの電圧出力センサーに対応可能である。なお、接続するセンサーへの電源供給は外部電源から行い、各チャンネル独立に装備された無電圧接点により、電源供給のON/OFF制御を行う。表-4に、その仕様を示す。

一方、NetMAIL-1は、ネットワーク・ロガー NetLG-402の内部メモリに集録データされたデータを回収し、

パケット通信回線)を経由して、定期的に事務所等のパソコンにメールとして双方向に送信するシステムである。表-5に、その仕様を示す。

また、現場事務所等のPCから、NetMAIL-1にメールを送ることにより、NetLG-402の設定を行うことができる。したがって、2.(1)節で述べた発電・蓄電状況に応じた測定頻度や通信間隔の制御は、測定された発電電力・充電電力データを基に、担当者が判断を下し、遠隔操作により制御することとなる。

(5) システムの実装

以上のように、選定・設計した各部を、自立型防災監視システムとして実装した。図-4にそのシステム系統図



写真-2 LEADSによる模擬地滑り測定状況

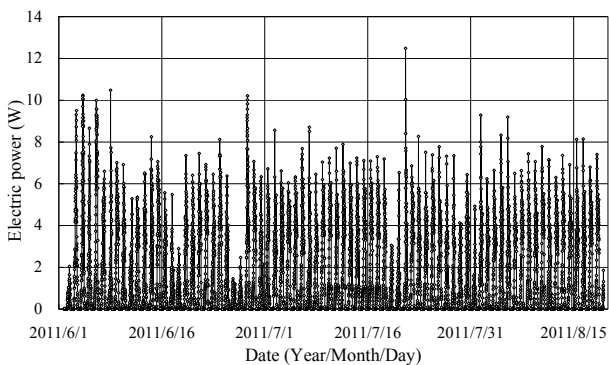


図-5 太陽光パネルの発電電力の経時変化

を、また写真-1に制御機器を搭載した制御ボックス内の実装状況を示す。

図-4において、青線はデータの流れを、黒線は流れを、さらに赤線は制御の流れをそれぞれ示す。電力の流れを見ると、太陽光セルSSJ-20で発電された電力は充電コントローラ Sunwave-6 で制御され、センサー、電圧ロガー NetLG-401、通信機Netmail-1等で消費される電力を供給するとともに、余剰電力を蓄電池PE12V17へ充電する。一方、夜間等で太陽光セルからの電力が供給されない場合は、蓄電池から充電コントローラ Sunwave-6 を介して電力消費機器に電力が供給される。

一方、太陽光セルSSJ-20の開放電圧・短絡電流、ならびに蓄電池PE12V17の電圧・充電電流は図-3に示した測定回路を介して、電圧ロガー NetLG-401 にデータが集積され、通信機Netmail-1により事務所等の PC へと送信される。なお、図-3の測定回路は実際には充電コントローラ Sunwave-6 と太陽光セル、および蓄電池を結ぶ経路上に接続されるが、図-3では説明のため独立して表記した。さらに、事務所 PC から送信される測定間隔や通信頻度等のシステム稼働指令は、通信機Netmail-1を介して電圧ロガー NetLG-401 に伝達され、通信機Netmail-1が通

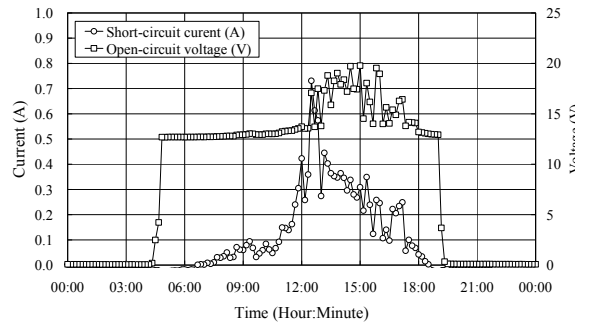


図-6 7月21日の発電電流・電圧の経時変化

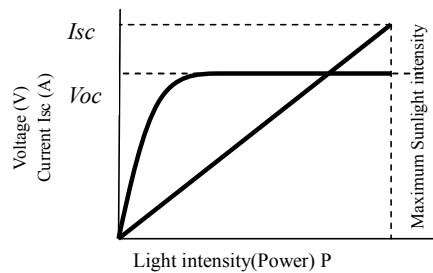


図-7 太陽電池セルの光強度 - 出力関係の概念図

信頻度を、また電圧ロガー NetLG-401 が測定間隔等を制御する。各種機器の実装・接続後、上記の系統に従うシステムの作動を確認した。

3. 開発システムの実用性検証実験と考察

(1) 自立型地盤災害監視局の実用性検証実験

2章で示した、自立型地盤災害監視局の実用性を検証するため、2011年6月1日から8月17日までの約7週間試験運用を実施した。実験では、負荷として光る変位計 LEADS(Light emission deformed Sensor)を写真-2のように、地すべり測定を模して設置した。これは、LEADS が、常時、点滅発光により継続的な負荷 (12mW) を与えるため、実用性を検証する上で適切であると判断した。なお、太陽光セル近傍で、日射量も同時に計測した。

(2) システムの発電・充電特性と効率に関する考察

図-5に試験期間中の太陽光パネルの発電電力の経時変化を示す。図-5で計測されたソーラパネルの最大電力は7月21日 12:30 の 12.48W であり、これは表-1に示した搭載ソーラパネル SJJ20 の公称最大出力20Wの60.2%しか最大でも発電できなかったこととなる。このときの動作電圧17.04Vは、表-1に示される公称最大出力時動作電圧 17.0V とほぼ同一であるから、当該ソーラパネルの発電能力は動作電流に支配されることは明らかである。

図-6は、最大発電量が計測された7月21日の太陽光セ

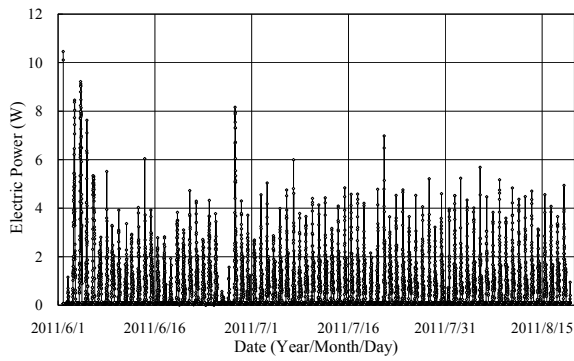


図-8 蓄電池充電電力の経時変化

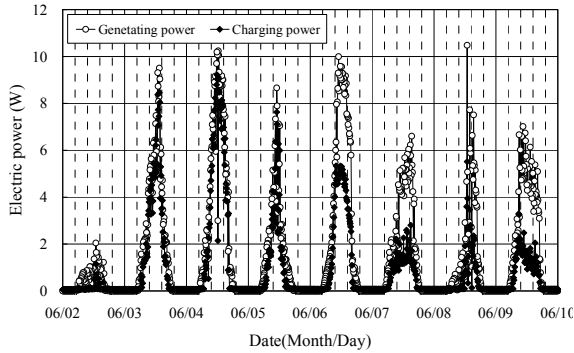


図-9 発電・充電電力の経時変化(6/2～6/10)

ルの開放電圧・短絡電流の経時変化を示した図である。図-6から明らかなように、発電電圧は夜明け(4:50)とともに、12.68Vまで昇圧し、安定するのにに対し、発電電流は有意な日射が確認される6:20までほとんど発生しておらず、その後は日射量に敏感に反応する。

光強度(エネルギー)Pと太陽電池セルの発生電圧(開放電圧)と流れる電流(短絡電流)の関係を概念的に図化すると図-7の関係となり、光強度が増加すると開放電圧・短絡電流ともに増加するが、開放電圧は一定の値で飽和し、短絡電流は直線に増加する。雨天時のような弱い太陽光では、短絡電流はわずかししか流れないが、開放電圧は比較的大きな値を保つ。したがって、図-7は光強度と太陽電池セルの開放電圧・短絡電流の関係に従うものであることが理解される。

また、図-8に試験期間中に蓄電池に充電された電力の経時変化をそれぞれ示す。図-8をみると、実験開始直後、6月28日、7月21日に非常に大きな電力が充電されているが、これらの日が特別日照量が大いわけではない。

6月2日～10日の経時変化を抽出した図-9をみると、6月3・4日は、発電量も多いが、○印と◆印がほとんど一致しており、発電した電力のほとんどが蓄電池に充電されたことが分かる。また、6月5日も発電量としてはさほど大きくないが、発電量のほとんどが充電されている。一方、それ以降は消費電力の領域が比較的広くな

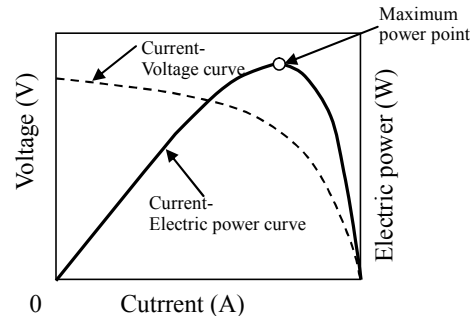


図-10 太陽電池セルの発電特性

っている。これは、6月5日時点で、蓄電池がほぼ満充電を達成し、それ以降は夜間や雨・曇天時に放電された消費電力分だけが充電されているものとみなせる。

これは、太陽電池セルの発電量は、日射量だけでなく、蓄電池の充電需要によっても支配されていることを示すものである。すなわち、図-10に模式的に示すように、太陽電池セルは、取り出す電流を増大させると、取り出せる電力も増大するが、ある一定の電流値を超えると、取り出せる電力は、逆に減り始め、さらに電流値を増大させると短絡電流が流れ、出力電力はゼロになる。したがって、出力電流を調整すれば日照状態に応じた最大出力電力に制御できることがわかる。

(3) 自立型地盤災害監視局の実用性検証実験のまとめ

開発システムでは、太陽光セルで発電した電力を有効に蓄電し、かつ蓄電池の長寿命化をはかるためバルク充電、吸収充電、フロート充電の三段階制御を採用した。今回の実験データでは、吸収充電からフロート充電への明確な移行点を確認することは困難であるが、負荷をかけない状態で浮動電圧値を保持する目的は実現されており、設計充電制御は有効に機能するものと評価する。

しかしながら、系の負荷電圧が比較的小さいため、採用した太陽光セルの発電能力の60%程度しか発電されていない。このため、蓄電池を公称電圧12Vタイプから、17Vタイプに変更することを検討する。

4. おわりに

開発した地盤災害監視局は、すでにくつかりの工事に適用され、現在まで安定した稼働実績を示すとともに、データ採取間隔や通信頻度の遠隔操作機能、充電電圧低下時の自動停止・復旧機能等も問題なく作動することも、併せて、報告し、本論文の結びとする。