

天然ダムの長期監視を目的とした ポータブルカメラシステムの開発とフィールド試験

秋山 健（東北大学），山内 元貴（東北大学），比嘉 翔弥（東北大学），
永谷 圭司（東北大学），吉田 和哉（東北大学）

Development and Field Test of a Portable Camera System for Long Term Observation of Natural Dam

Ken AKIYAMA (Tohoku Univ.), Genki YAMAUCHI (Tohoku Univ.), Shoya HIGA (Tohoku Univ.),
Keiji NAGATANI (Tohoku Univ.), Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.)

Abstract : A natural dam is sometimes built up when rivers are dammed by landslides caused by typhoon, hard rain, or earthquakes. In case that the dam failure, downstream area gets severe damage. Therefore, it is important for inhabitants to give them an alarm by observation of the dam continuously. However, it is difficult for human to approach such a natural dam typically. So, we developed a portable camera system to observe a natural dam from remote area. In this paper, we explain the camera system and report a result of long term observation test using the system.

1 緒言

日本は、太平洋の端に位置するという立地条件から、毎年夏から秋にかけて、太平洋高気圧の縁に沿って移動する台風が数多く通過する。2011年には、合計21もの台風が日本列島を通過し、多くの被害をもたらした[1]。特に、2011年9月には台風12号が本州を縦断し、この台風による大雨が原因で、奈良県、和歌山県の両県に17箇所もの天然ダムが発生した[2]。Fig. 1に、台風12号により奈良県五條市大塔町に発生した赤谷天然ダムを示す。

天然ダムは、決壊すると大規模な土石流が発生し、その下流に甚大な被害をもたらす恐れがある。そこで、国土交通省は、天然ダムの発生が確認されると、緊急対策作業（土木工事）を実施する。しかしながら、天然ダムの発生現場付近に雨が降ると非常に危険となるため、その付近一帯の立ち入りが禁止され、現場の状況を確認する手段がなくなる。

そこで、本研究では、遠隔地より天然ダムを視覚的に監視するポータブルカメラシステムを開発し、この問題の解決を目指す。本稿では、天然ダムの監視シナリオ、開発したカメラシステムについて述べ、浅間山麓の片蓋川にて実施したフィールド試験について報告する。



Fig. 1: Akatani natural dam (Gozyo City Nara Pref, ©Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism : MLIT)



Fig. 2: Observation system of natural dam [3]

2 天然ダム監視

天然ダムは、台風や大雨、地震などが原因で地滑りが起こり、河川が堰き止められ形成されるダムである。また、火山が噴火し、その噴出物によって河川が堰き止められ形成されることもある。この天然ダムを放置すると、決壊して土石流が発生する恐れがあるため、天然ダムを常時監視する必要がある。

現状の天然ダムの監視体制は、Fig. 2に示すように、ヘリコプターによる上空監視、水圧型水位計や投下型水位観測ブイによる水位観測、ワイヤセンサーや斜面崩壊検知センサーによる土石流の監視、固定カメラと衛星通信による定点監視等がある[3]。また、地上レーザースキャナやノンプリズム型トータルステーションにより、天然ダムの土砂形状を観測する手法もある[4]。

しかしながら、天然ダムの監視に最も重要なのは現場の視覚情報（写真）である。一般に、天然ダムが発生する現場は山間部の奥地であるため、電源確保、通信ネットワークの構築が極めて難しく、既存の手法では、現場の状況を常時監視することが困難であった。

そこで、本研究では、Fig. 3に示すように、天然ダムの周辺部にPTZ（Pan-Tilt-Zoom）カメラを搭載したポータブル監視デバイスを設置し、天然ダムの崩壊部、ならびに閉塞部を監視する手法を考える。このとき、カメラにより

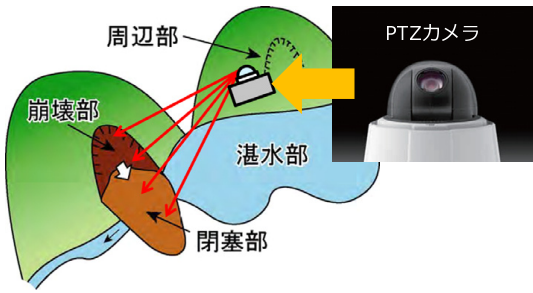


Fig. 3: PTZ-camera and observation camera system

注視する箇所は時々刻々と変化し、複数点存在する。また、監視期間は数週間を想定する。

この天然ダム監視を進める上で、国土交通省砂防部との打ち合わせによって作成した、天然ダムの監視シナリオを以下に示す。

1. 大雨や地震などにより天然ダムが形成。
2. ヘリコプターにより監視デバイスを運搬，天然ダムの周辺部に投下し設置。
3. 天然ダムの崩壊部，閉塞部の写真を撮影し，画像を送信。
4. 住民の避難計画と工事計画の策定。

以上の手法，監視シナリオにて天然ダム監視を行う上での技術的課題を以下に示す。

電源管理

監視デバイスによる監視期間は数週間を想定しているため，その間の電源確保が課題となる。

通信

天然ダムの発生現場付近に人が立ち入ることができないため，基地局と監視デバイスとを有線で接続することは非常に困難である。また，2.4GHzの無線LAN通信は，回り込みが小さく，さらに長距離通信が必要となり難しい。そのため，基地局と監視デバイスとの通信が大きな課題となる。

スケジューリング管理とカメラ設定

監視デバイスは人が立ち入ることのできない箇所に設置される。また，カメラで注視すべき箇所は変化し，さらに複数点存在する。そのため，スケジューリング管理，ならびにカメラの撮影ポイント変更を遠隔から行うことが必要となる。

耐環境性

監視デバイスは，天然ダムの発生現場周辺に設置されるため，防水，防塵である必要がある。また，数週間の運用に耐えられるものでなければならない。

3 天然ダム監視デバイス

監視シナリオにて天然ダム監視を行う上での技術的課題をクリアし，天然ダム監視デバイスを構築することが，本研究の目的である。まず，監視デバイスの開発に際して，最低限必要な構成要素の選定を行った。次に，監視デバイスのプロトタイプを製作し動作試験を行い，その後，すべての構成を含んだポータブルカメラシステムの開発を行うこととした。以下にその詳細について述べる。



Fig. 4: FOMA module UM02-KO (©NTT docomo)

3.1 構成要素の選定

まず，技術的課題の1つである通信に関してだが，これまで移動ロボットの通信に利用してきた2.4GHzの無線LAN通信は，回り込みが小さく，アンテナの角度や地形の状況に大きく影響され[5]，今回の天然ダムでの利用は困難と想定される。そこで，通信レートは低下するが，山間部等，広範囲で通信可能なdocomoのFOMAモジュール (Fig. 4) を利用することにした。また，外部アンテナとして，サガ電子工業社製ルーフトップアンテナRTA827L-2-SMAPを用いることとした。

次に，監視デバイスに搭載するカメラに関して，パン，チルト機構を搭載していること，十分なズーム性能を有していること，屋外での使用が可能なることを考慮して，AXIS P5522-E PTZ ドームネットワークカメラ (Fig. 3 右上) を選定した。このカメラの仕様をTable 1に示す。

電源に関して，監視デバイスは設置場所での電源確保が不可能であり，さらに，長期間の運用が必要であるため，太陽電池パネルによるバッテリー充電を行うこととした。このため，長期間運用するには省電力のシステムであることが望ましい。そこで，24時間起動しているのはマイコン (ルネサス エレクトロニクス，SH2/7144) のみとし，このマイコンがFOMAモジュールやPTZカメラ，これらを制御するPC (ALIX.3c3, AMD 500MHz) の電源管理を行うこととした。

ここで，このシステムの電力量を考える。PC，FOMAモジュール，PTZカメラの消費電力は，それぞれ15W，4W，16Wである。1回の写真撮影に要する時間は約3分であるため，これらのデバイスの1回の撮影あたりの電力量は， $(15 + 4 + 16) \times 3/60 = 1.75$ Wh である。また，監視デバイスを午前6時から午後6時までの12時間，30分に1回，すなわち1日に24回起動させるとすると，1日あたりの電力量は42Whとなる。24時間起動するマイコンの1日あたりの電力量を24Whとすると，システム全体の1日あたりの電力量は66Whとなる。

次に，必要なバッテリー容量を考える。システムの1日あたりの電力量を Q_{sys} ，バッテリー電圧を V_B ，放電深度を D ，連続無日照日数 (連続して太陽電池パネルによる充電がまったく行われない日数) を K とすると，必要なバッテリー容量 W_B は次式で示される。

Table 1: Specification of network camera AXIS P5522-E PTZ

Pan	360 deg, 0.2 deg – 200 deg/s
Tilt	180 deg, 0.2 deg – 200 deg/s
Zoom	18× optical zoom, 12× digital zoom Total 216× zoom
Resolutions	720 × 480

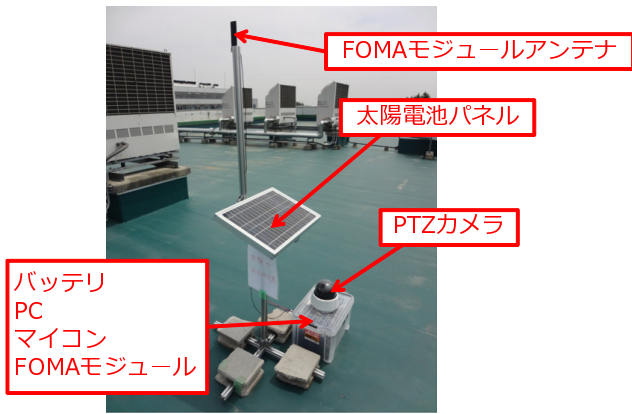


Fig. 5: Prototype of an observation camera system

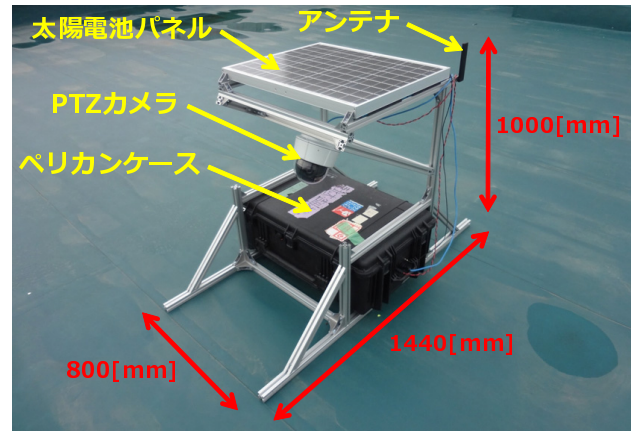


Fig. 7: Portable observation camera system



Fig. 6: A photo taken by a prototype

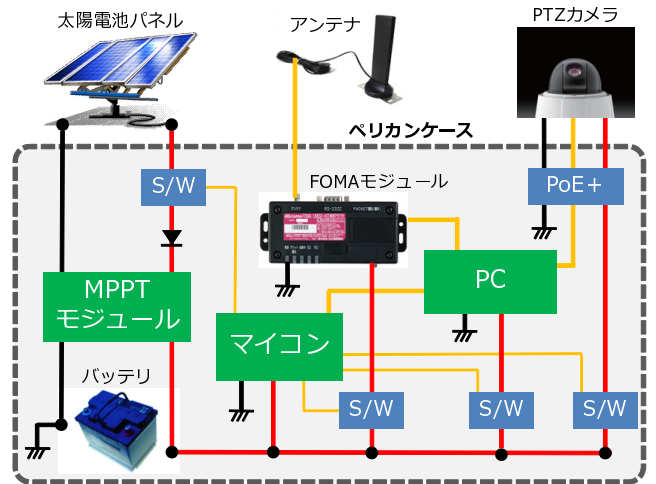


Fig. 8: Control system of a portable camera system

$$W_B = \frac{Q_{sys}K}{V_B D} \quad (1)$$

システムの1日あたりの電力量は66Whであり、バッテリー電圧を12V、連続無日照日を3日、放電深度を50%とすると、必要なバッテリー容量は33Ahとなる。よって、監視デバイスには鉛シール蓄電池（12V、36Ah）を用いることとした。

最後に、太陽電池パネルの必要出力を求める。システムの1日あたりの電力量を Q_{sys} 、1日あたりの有効日射時間（太陽光発電が可能な時間）を A 、補正係数（太陽光発電の効率等を含んだ係数）を η とすると、必要な太陽電池パネルの出力 P_{solar} は次式となる。

$$P_{solar} = \frac{Q_{sys}}{\eta A} \quad (2)$$

日本における1日あたりの有効日射時間は約3.3時間である[6]。また、システムの1日あたりの電力量は66Whであり、補正係数を0.7とすると、必要な太陽電池パネル出力は28.6Wとなる。ただし、太陽電池パネルを設置する地域、周辺環境、季節などによって太陽光発電の効率は変化するため、実際の環境にて動作試験を行う必要がある。

3.2 プロトタイプ製作

前節に示した監視デバイスに最低限必要な構成でプロトタイプを作成した。Fig. 5に示すように、簡易防水箱の内

部にバッテリー、PC、マイコン、FOMAモジュールを配置し、外部にPTZカメラ、FOMAモジュールアンテナ、太陽電池パネルを取り付けた。なお、前節にて求めた太陽電池パネルの必要出力は28.6Wであったが、簡易的なプロトタイプであるため、小型な定格出力20Wの太陽電池パネル（シェルソーラージャパン、SJS20）を用いている。

このプロトタイプを東北大学機械系1号館屋上に設置し、2012年6月10日から10日間、動作試験を実施した。この動作試験中、カメラは午前6時から午後6時までの間、約30分に1回起動し、1回の起動で12枚の写真を撮影した。動作試験中に撮影された写真の一部をFig. 6に示す。このとき、撮影された写真はFOMAモジュールを通して、研究室内に設置したHTTPサーバーに問題なく送信されることを確認した。この送信された画像は、ホームページ[7]にて閲覧可能である。なお、動作試験を行った期間は梅雨であり、雨の降る日が多かったが、プロトタイプは問題なく動作した。

3.3 ポータブルカメラシステムの開発

前節に示したプロトタイプの動作試験の後、すべての構成を含んだポータブルカメラシステムを開発した。Fig. 7にカメラシステムの外観、Fig. 8にコントロールシステム図を示す。大きさは、全長1440mm、全幅800mm、全高1000mmで、重量が約40kgである。また、太陽電池パネル



Fig. 9: Database of photos taken by a portable camera system (<http://astro.frontier2012.live-on.net/>)

は、定格出力40Wのもの（京セラ，KC40TJ）を採用した。

Fig. 8に示すように，このカメラシステムにおいて24時間起動しているのはマイコンのみで，マイコンがそれぞれのデバイスのON/OFFを制御している．この時の制御シーケンスを以下に示す．

1. マイコンがPC，FOMAモジュール，PTZカメラを起動させる（スイッチON）．
2. PCが起動完了後，NTPサーバーに問い合わせ，現在時刻を取得する．
3. PCとマイコンの時刻を同期させる．
4. PCがHTTPサーバーにアクセスし，カメラの撮影ポイント，ならびに次に起動するまでの時間を取得する．
5. マイコンが太陽電池パネルの発電状況を取得する．
6. PCの指令により，PTZカメラが指定されたポイントの写真を撮影する．
7. PCの指令により，FOMAモジュールを通して画像データをHTTPサーバーに送信する．
8. マイコンがPC，FOMAモジュール，PTZカメラの電源を落とす（スイッチOFF）．
9. マイコンが次の起動時間まで時間管理を行う．

なお，カメラシステムの耐環境対策のため，バッテリー，PC，マイコン，FOMAモジュール等は，防水，防塵が保障されているペリカンケース（PELICAN™）内に配置し，パッケージング化した．また，高効率での太陽電池パネルによるバッテリー充電を実現するため，Fig. 8に示すように，太陽電池パネル - バッテリー間にMPPT（Maximum Power Point Tracking）モジュール（東京デバイスズ，IW1608-AL）を配置している．

このポータブルカメラシステムを用いて，プロトタイプと同様に，東北大学機械系1号館屋上にて動作試験を実施した．動作試験は2012年6月29日から7月9日，8月3日から8月29日まで実施した．なお，電源に余裕があったため，写真撮影は午前6時から午後6時まで約15分に1回（1日あた



Fig. 10: Field test at Katafuta river to observe Mt. Asama

り約48回）を行い，1回の起動で12枚の写真を撮影した．この動作試験中，カメラシステムは問題なく動作し，撮影した写真はホームページ上で確認できる．

また，ホームページ上では，Fig. 9に示すように，写真撮影を行った時刻，カメラの撮影ポイント，ならびに太陽電池パネルによる発電状況も確認可能である．さらに，カメラの撮影ポイントや起動間隔もホームページ上で設定でき，遠隔からのスケジューリング管理，ならびにカメラの撮影ポイント変更も可能となる．

4 フィールド試験

国土交通省砂防部の助言により，2012年9月5日に浅間山麓の片蓋川にポータブルカメラシステムを設置し，10月12日現在まで，フィールド試験を実施している．カメラシステムは，Fig. 10に示すように，片蓋川の砂防ダムの上に置かれ，浅間山の斜面を観測している．なお，このカメラシステムの設置場所は，浅間山火口から東北東に約5km離れたところとした．

2012年10月12日の午前中に撮影した写真の一部をFig. 11に示す．Fig. 11に示されるように，1783年の浅間山大噴火において，土石流が発生した斜面の高解像度写真の撮影に成功した．このフィールド試験中，カメラシステムは午前6時から午後6時まで，1時間あたり約4回起動している．また，1回の起動で12枚の写真を撮影している．

フィールド試験中の太陽電池パネルの発電状況をFig. 12に示す．Fig. 12は横軸に観測日，縦軸に午前6時から午後6時までの太陽電池パネルの平均出力電圧，ならびに平均バッテリー電圧を示している．ポータブルカメラシステムの設置場所は山間部であるため，天気の変化しやすく，曇りの場合が多い．さらに，フィールド試験を実施している期間は，秋雨前線の影響で雨の降る日も多くあり，太陽電池パネルによるバッテリー充電が十分に行われない日もあった．特に，9月23日は1日中雨が降っていたため，Fig. 12に示されるように太陽電池パネルの出力電圧が14Vを下回り，バッテリーの充電がほとんど行われていない．しかし，このような条件下においても，開発したカメラシステムは，途切れることなく，連続で動作することを確認した．また，9月30日の深夜から，10月1日の未明にかけて，台風17号が浅間山付近を通過した．この際，10月1日の午前中に，何らかの影響でカメラシステムが長時間停止したが，その後は，特に問題もなく，観測を継続している．

なお，カメラシステムから送信された画像データ，ならびに太陽電池パネルの発電状況はホームページで確認できる．さらに，スケジューリング管理，カメラの撮影ポイント変更も，ホームページを通して遠隔から可能である．

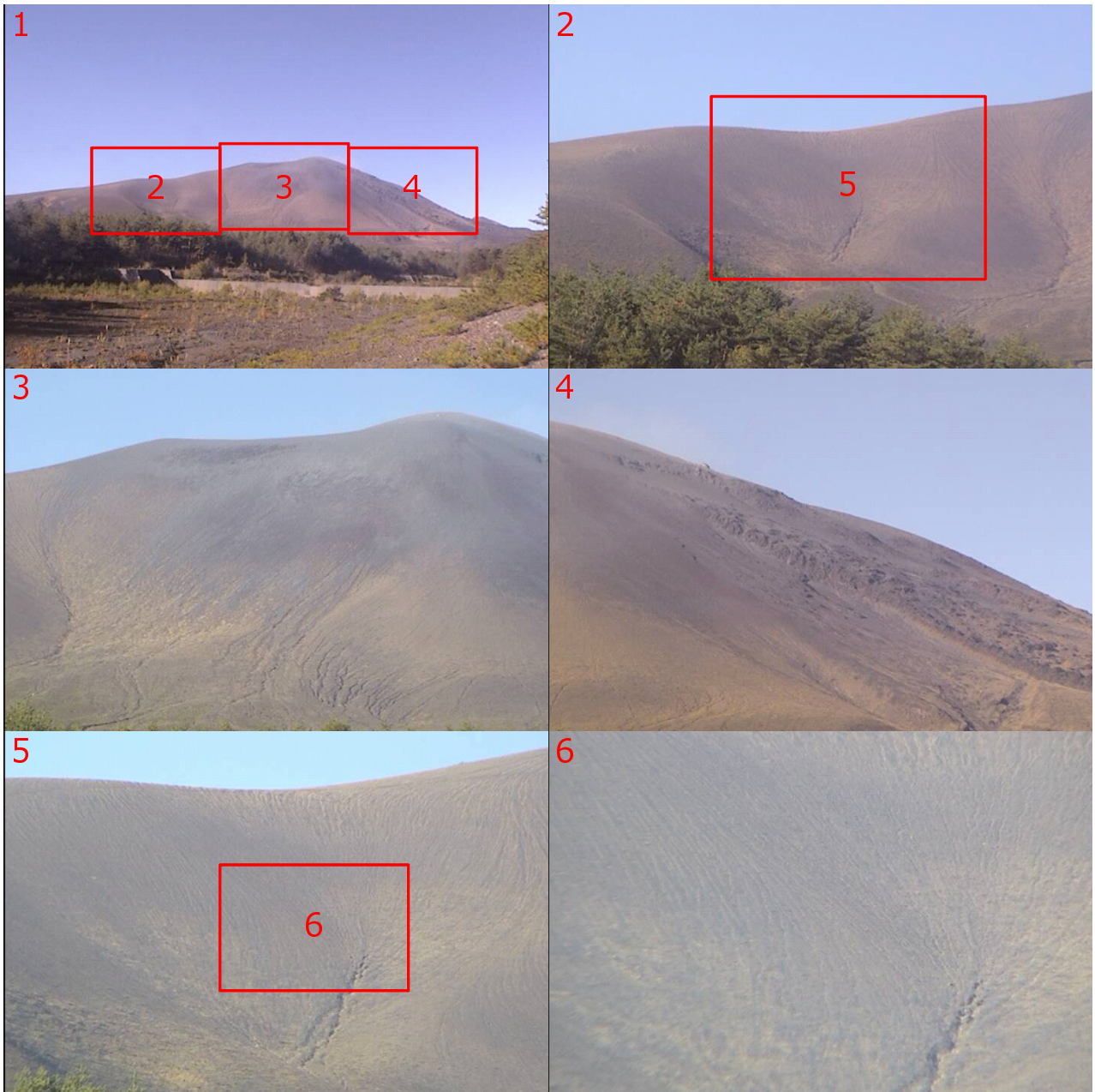


Fig. 11: Photos taken by a portable camera system at Katafuta river (2012/10/12 7:49 AM)

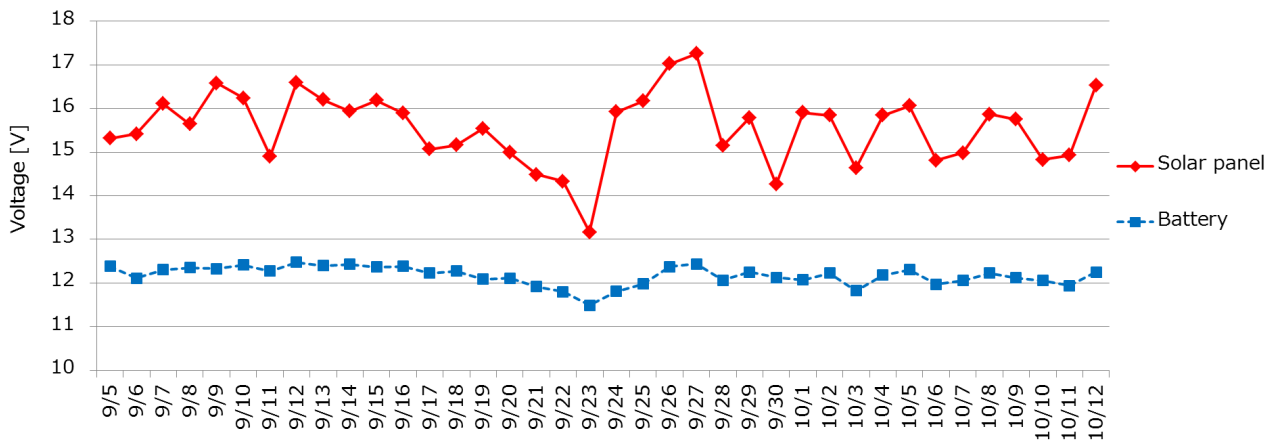


Fig. 12: Power status of solar panel (AM 6:00 - PM 6:00)

5 結言

本研究では、天然ダムの長期観測を目的としたポータブルカメラシステムを開発した。このカメラシステムは、太陽電池パネルによるバッテリー充電、FOMAモジュールを用いた通信を利用することで、ネットワーク環境に依存しない遠隔からの長期観測を実現した。

また、カメラシステムには、高性能のPTZカメラを搭載し、浅間山麓の片蓋川に設置して実施したフィールド試験では、浅間山斜面の土石流跡の高解像度写真を撮影した。このカメラシステムによって撮影された写真、カメラの撮影ポイント、ならびに太陽電池パネルの発電状況は、ホームページで確認可能である。さらに、スケジューリング管理、カメラの撮影ポイント変更もホームページから可能であり、遠隔からこれらの設定を行うことができる。また、フィールド試験中は、天気が不安定な日も多くあったが、1カ月を超える長期観測が可能であり、現在も引き続き浅間山斜面を観測中である。

なお、今回のフィールド試験は国土交通省砂防部の助言により火山地域にて実施したが、実際の環境である天然ダムでのカメラシステムの長期運用も十分可能と考えられる。

今後に関してだが、現在実施している片蓋川でのフィールド試験は継続して行い、今回開発したカメラシステムが冬季の運用も可能かどうかを検証する予定である。また、小型電動ヘリコプターにおいても運搬可能な、超小型監視デバイス（重量2kg程度）の開発を検討している。さらに、今回開発したポータブルカメラシステムと、移動ロボットを融合させた、移動型監視デバイスの開発も可能と考えている。

謝辞

天然ダム監視デバイスの開発、ならびにフィールド試験にご協力いただいた、国土交通省砂防部の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 過去の台風資料，気象庁ホームページ，
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/>
- [2] 国土交通省，平成23年台風第12号災害の報告，土砂災害防止法に関する政策レビュー委員会 配付資料，2011-12
- [3] 滋賀県，国土交通省，水害に強い地域づくりを目指して - 流域治水の推進方策，第5回 流域治水シンポジウム，2011-12
- [4] 土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム，天然ダム監視マニュアル（案），土木研究所資料 第4124号，2008-12
- [5] 永谷圭司，桐林星河，西村健志，吉田智章，小柳栄次，羽田靖史，油田信一，中里邦子，久武経夫，森山裕二，小型クローラ移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察 - 高出力の無線通信を用いた浅間山でのフィールド実験 - ，第12回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 論文集，pp.54-57，2011-12
- [6] 太陽光発電のススメ，日本イーテックホームページ，
<http://www.eteck-japan.com/susume/>
- [7] 天然ダム監視システム，
<http://astro.frontier2012.live-on.net/>