

## 蔵王火山での無人観測装置の冬季運用試験\*

東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 谷島諒丞・山内元貴・大丸拓郎・大塚光  
東北大学大学院 災害科学国際研究所 リーディング大学院 久利美和

### 1. はじめに

気象庁は、2014年9月27日に発生した御嶽山の噴火災害を踏まえ、火山噴火予知連絡会「火山観測体制等に関する検討会」において取りまとめられた「御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する緊急提言」(2014年11月28日)に基づき、火山観測体制の強化に必要な観測機器等を整備している。仙台管区气象台も、火口の状況を視覚的に観測することを目的とした火口監視カメラの整備を開始したが(仙台管区气象台, 2016)、積雪の多い冬季の北日本の火山での安定した観測が課題となっている。特に、樹氷で有名な冬季の蔵王山頂は、低温、着氷及び着雪(以下、「樹氷化」)により、カメラの視界が遮断される。このため、通年観測を実現するためには、火口監視カメラへの樹氷化対策が必要である。

そこで、本研究では、冬季の火山における安定した火口観測の実現を目的とし、樹氷化対策を施した独立電源型観測装置(以下、独立電源型)と外部電源型観測装置(以下、外部電源型)を開発し、蔵王山において冬季運用試験を行った。

### 2. 無人火山観測装置の開発と樹氷化対策

本研究では、商用電源の利用の可否で条件を分け、2種類の無人火山観測装置を開発した。

#### 2.1. 独立電源型観測装置

独立電源型は、バッテリーを搭載し、商用電源が利用できない環境でも使用可能な観測装置である。全体図とシステム構成を図-1と図-2に示す。バッテリーと制御回路が入った防水ケース(Pelican製1500 Case)、カメラが入ったアクリルドーム、アルミフレームから構成され、サイズはL660 x W470 x H850 mm、重量は11 kgである。これは、無人ヘリコプタでの運搬と積雪を想定した仕様である。バッテリーは、塩化チオニール・リチウム電池(FieldPro製LB1240, 12 V 480 Wh)とリチウムイオン電池(IDX製DUO-150, 14.8 V 146Wh)を併用する。PCと通信機は必要な時のみマイコンで起動させ、使用電力をできる限り少なくしている。

アクリルドームの樹氷化対策については、独立電源型はバッテリー駆動で電源容量が限られているため、電源を必要とする対策は観測期間を短くする。そこで、電力を必要としない対策として、プラスチック専用コーティング剤(プレクサス社製プレクサス)を塗布した。

#### 2.2. 外部電源型観測装置

外部電源型は、商用電源で駆動する観測装置である。全体図とシステム構成を図-3と図-4に

\* Winter operational test of unmanned observation devices in Mt. Zao by Ryosuke Yajima Genki Yamauchi Takuro Daimaru Hikaru Otsuka Miwa Kuri



図-1 独立電源型観測装置

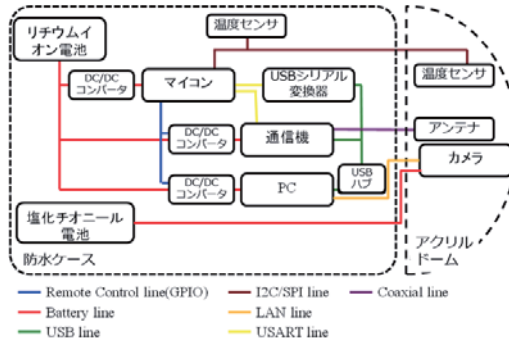


図-2 独立電源型のシステム構成



図-3 外部電源型観測装置

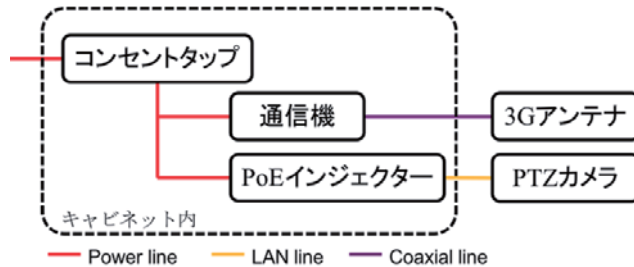


図-4 外部電源型のシステム構成

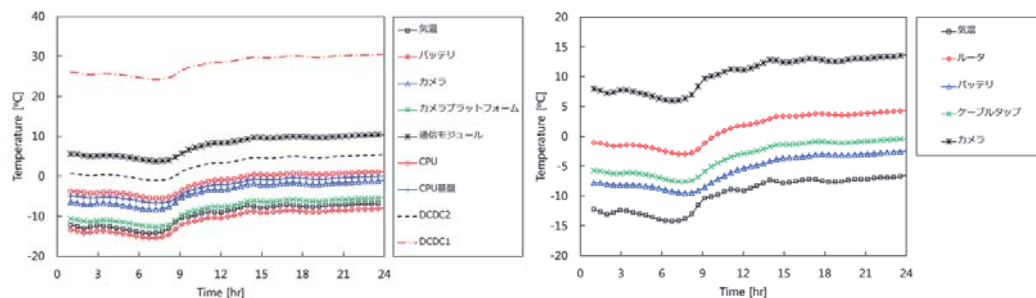
示す。外殻が回転可能なPTZカメラ (Axis製 Q6115-E), 3G モバイルルータ (サン電子製 RX210), 防水防塵キャビネット (Axis 製), PoE インジェクター (Axis 製), ワイパブレードから構成され、サイズは L450 x W250 x H490 mm, 重量は 9 kg である。総使用電力は 60 w 未満である。

カメラの樹氷化対策には、仙台管区気象台のヒータ (600 w) による樹氷化対策 (仙台管区気象台, 2016) と比較するため、ワイパ方式を採用した。この装置では、ワイパブレードは固定されており、カメラの外殻が回転すると、雪が払われる。ワイパブレードは、厚さ 2 mm のポリカーボネート板で、仙台管区気象台の「布粘着テープでふさいだ蔵王刈田嶺神社の社務所の窓だけが樹氷化していなかった」との証言に基づき、表面に布粘着テープを張り付けている。

### 2.3. 観測装置の熱設計

観測装置には、厳しい環境での長期間の安定した動作が求められるため、設計段階で熱解析を行った。熱解析には、C&R 社の Thermal Desktop を用いた。外気温モデルは、過去 10 年間の山形市 (標高 153 m, 緑町, 山形地方気象台) の温度データと山形市内と蔵王お釜付近 (標高 1550 m) の温度差の実測値を参考に推定した。各観測装置を構成する機器の熱特性および作動温度範囲を表-1 と表-2 に示す。

熱解析の結果の例として、低温時の非定常解析の結果を図-5 に示す。許容温度付近に近づいている機器もあるが、いずれも許容温度範囲内に収まっていることが確認できた。また、どの場合も、外気温の変化が緩やかで、熱的な平衡状態を保持しているため、各機器の温度が外気温に対してほぼ同じ温度差を保ったまま推移しているが、独立電源型と外部電源型では、全体



(1) 独立電源型 (2) 外部電源型  
 図-5 観測装置の熱解析結果の例 (低温時 非正常解析)

の温度差が異なっている。これは、DC/DC コンバータのような高温化する機器が影響している。

## 2.4. モニタリングシステム

観測装置が取得した情報の発信を目的とし、web ページを利用したモニタリングシステムを構築した。このシステムは、観測装置、携帯電話回線、サーバ、ユーザの端末により構成される。観測装置が取得した観測データは一定時間間隔でサーバへ送信され、サーバは観測データを蓄積・管理する。ユーザは、観測データの表示と検索、観測装置の詳細説明等にアクセスできる。実験のため、関係者のみアクセス可能としたが、一般公開も可能である。

## 3. 冬季運用試験

開発した観測装置の性能を検証するため、実際に冬季の蔵王山に観測装置を設置して、観測を継続できるかを確認する冬季運用試験を実施した。

### 3.1. 試験環境と試験期間

試験環境は、気象環境が蔵王山頂に近く、商用電源が利用でき、実験期間中の経過の確認および維持管理が比較的容易な場所として、山形蔵王スキー場の蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅の駅舎屋上 (図-6、標高 1661 m、蔵王山最高峰の熊野岳の標高は 1841 m) を選択した。ここは、

表-1 独立電源型 搭載機器の熱特性  
 および許容温度範囲

機器名	主な材質	発熱量 [W]	許容温度範囲 [°C]
カメラ	アルミ	5.38	-45~85
CPU	アルミ	0 or 1.25	-20~45
USB HUB	プラスチック	-	-
DC/DC コンバータ 1	アルミ	1.32	-40~85
DC/DC コンバータ 2	アルミ	0.0025	-40~85
マイコン	アルミ	0.125	-40~85
3G 通信 モジュール	アルミ	2.5	-20~45
バッテリー	バッテリー電解質	0.2	-20~50

表-2 外部電源型 搭載機器の熱特性  
 および許容温度範囲

機器名	主な材質	発熱量 [W]	許容温度範囲 [°C]
カメラ	アルミ	2	-40~50
ルータ	アルミ	2	-20~60
PoE インジェクター	プラスチック	0.5	10~45
ケーブル タップ	プラスチック	0.2	-



図-6 冬季運用試験の試験場所  
(電子版国土地理院地図に加筆)



図-7 観測装置の設置状態



図-8 試験開始 20 日後の  
観測装置の状態

冬季は気温が氷点下で悪天候の日が続き、樹氷も形成される厳しい環境である。

また、試験は、2016年12月3日から2016年4月8日（通信契約終了）まで行った。蔵王ロープウェイ（株）による気象観測データ（蔵王ロープウェイ（株），2014，2015，2016）に基づく、この期間（2015年12月～2016年3月）は、前年（2014年12月～2015年3月）と比較すると、気温、風速、視程は同程度だが、積雪は半分以下であった。

### 3.2. 観測装置の設置状態

観測装置は、地蔵山頂駅屋上の展望デッキに設置した（図-7、仙台管区気象台，2016）。独立電源型は、製作したアルミフレームからは取外し、フレームの中心に製作時と同様の配置で固定した。外部電源型は、フレームの端に立てたポールに専用のポールマウントを用いて固定した。どちらの観測装置も、樹氷化の影響を低減し、長期間観測するために、カメラを樹氷の成長方向とは逆の風下である東に向けた。また、通信用アンテナは、布粘着テープを貼ったプラスチックケースに収納し、フレームに固定した。

### 3.3. 試験結果

観測装置は、開始から20日後には、図-8のように外部電源型のカメラ以外ほぼ樹氷に覆われていた。観測状況のまとめを図-9に示す。また、各観測装置の詳細な結果を以下に述べる。なお、本試験では、データの送信間隔を独立電源型は30分毎、外部電源型は5分毎とした。

#### 3.3.1. 独立電源型観測装置

伝送された画像（図-10）より、設置3日目には、アクリルドームが樹氷化したことが分かった（図-10 右上）。天候回復により、一時的に回復することはあったが、すぐに再樹氷化した。この結果から、コーティング剤のみによる樹氷化対策では不十分であることが分かる。

また、観測日数は、バッテリー容量からの推定では48日間であったが、実際は2015年12月2日から2016年1月7日19時までの36日間であった。想定よりも短くなった原因としては、①低温によるバッテリー性能の想定以上の低下、②天候等が原因と考えられる携帯電話回線の電波状況の悪化によるデータ伝送時間と消費電力の増加が考えられる。

通信は、天候不良時に一時的に通信不能になることはあるものの、自動的に回復し、概ね良

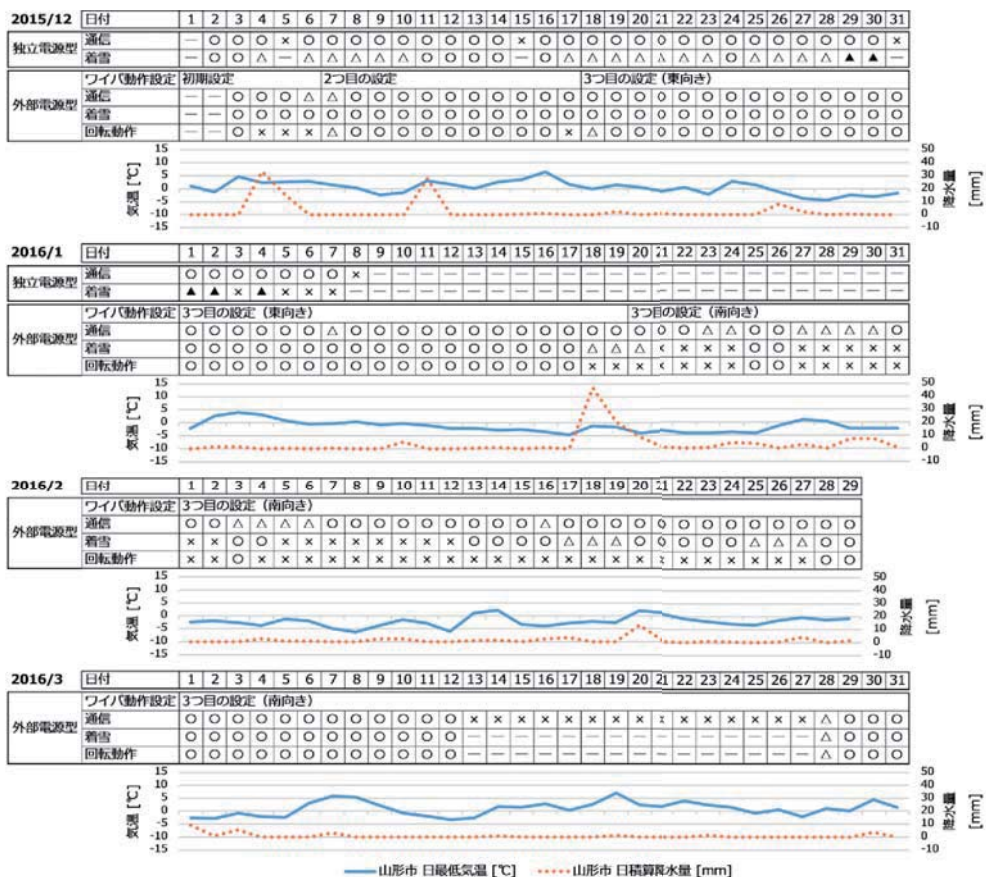


図-9 観測装置の観測状況と山形市の気象状況

(○ : 良好, △ : やや良好, ▲ : やや不調, × : 不調, - : 不明)

好であった。

### 3.3.1. 外部電源型観測装置

樹氷化対策については、まず、初期設定として、大学のサーバから自動でコマンドを送信し、5分毎にワイパを動作させたが、ワイパが動作しない時間が長いため、1日で凍結し、カメラが回転しなくなった。2つ目の設定として、時間間隔を短くして1分毎に同様の動作をさせたが、10日後に凍結した。これは、2時間ほど通信不能時間があり、コマンドを受信できず、ワイパ動作ができなかったことが原因である。そこで、3つ目の設定として、コマンド送信なしで、観測装置が自動で1分毎にワイパ動作するように変更したところ、1月18日に大雪が降るまでの1か月にわたり観測を継続できた。さらに、同じ設定で、カメラを風下に垂直な南に向けて観測する試験も行ったが、1日で凍結した。以上の結果から、カメラを風下に向け、1分毎に自動でワイパ動作させることが樹氷化対策として有効であることが分かった。

通信については、概ね良好で、図-11のような画像が得られたが、3月に2週間にわたり通信不能となった。観測装置を確認したところ、この原因はアンテナのゆるみであったことから、



図-10 独立電源型の撮影画像



図-11 外部電源型の撮影画像

強風等にも耐える十分なアンテナの固定が必要であると言える。

#### 4. おわりに

本研究では、独立電源型観測装置と外部電源型観測装置を開発し、蔵王山において冬季運用試験を行った。試験の結果、独立電源型は、コーティング剤による樹氷化対策は効果なかったが、36日間、外部からの給電なしで観測を継続できた。外部電源型のワイパによる樹氷化対策は、カメラを風下側に向け、1分毎に自動回転させることで、概ね良好であることがわかった。また、通信は、天候不良時に一時的な通信不能はあるが、冬季の火山でも概ね使用できることが分かった。

今後の課題としては、独立電源型に実装可能な無電力または低電力の樹氷化対策を再検討する必要がある。また、ワイパによる樹氷化対策は、ワイパブレードへの局所的なヒータの取り付けによって、最低限の電力増加で、さらに観測期間を延長できる可能性がある。これらを実施することで、冬季の火山における安定した火口観測の実現に近づくと考えられる。

#### 執筆分担

本研究では、筐体及び機構設計を谷島諒丞が、制御設計を山内元貴が、熱解析を大丸拓郎が、モニタリングシステム開発を大塚光が、運用評価を久利美和が担当した。

#### 謝辞

本研究は、仙台管区気象台の冬季運用試験機器の比較機として採用され、気象台の監督下で実施の機会を得た。運用試験にあたり、設置場所の蔵王ロープウェイ株式会社より多大な協力を得た。装置開発は、東北大学学位プログラム推進機構リーディングプログラム部門グローバル安全学トップリーダー養成プログラムの支援を得た。開発コンセプトについて、同プログラムの海野徳仁博士、齋藤雅典氏、松本恵子氏、柳田泰宏氏より有益な意見を得た。記して感謝する。

#### 参考文献

仙台管区気象台蔵王山火口カメラ通年化に係る検討チーム（2016）：蔵王山火口監視カメラ冬季運用に係る実証実験（概報）

山形地方気象台：地上気象観測原簿

蔵王ロープウェイ（株）（2014, 2015, 2016）：地藏山頂駅気象観測日誌

