# 令和3年度 地震研究所職員研修会 アブストラクト集



日程 令和4年2月3日(木)~4日(金)

地震研究所研修運営委員会

### 1日目:2月3日(木)

13:55~14:45 口頭発表

(座長:渡邉)

#	至文、俊煌)						
	13:55~14:10	(1-01)	ドローン搭載用3軸磁気センサーに付属させる物理センサーのデータロガーの構築(その2)				
			○浦野 幸子 <sup>1</sup> ・小河 勉 <sup>2</sup>				
			東京大学地震研究所				
			1:技術部技術開発室、2:観測開発基盤センター				
	14:10~14:30	(1-02)	阿蘇火山におけるドローンガス観測				
			吉川(慎				
			京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター				
	$14:30\sim 14:45$	(1-03)	2014年口永良部島火山噴火以降の観測について				
			園田 忠臣				
			京都大学防災研究所技術室(勤務地:火山活動研究センター)				

15:25~17:00 ポスター発表

(P-01)	低価格低消費電力GNSS受信機を用いた御嶽山頂火口周辺における観測点の設置			
	松廣	健二郎		
	名古屋大学全学技術	センター		

(P-02) バッテリー容量復活の試み

○秋山 峻寬、渡邉 篤志 東京大学地震研究所技術部総合観測室

(P-03) リン酸鉄リチウム電池の紹介 渡邉 篤志 東京大学地震研究所技術部総合観測室

(P-04) 海底ケーブル釜石局舎地下ピットにおける広帯域地震観測点の構築 ~簡易耐圧容器を用いた長周期ノイズの軽減~

> ○橋本 匡¹・田中 伸一¹・篠原 雅尚² 東京大学地震研究所

1:技術部総合観測室、2:観測開発基盤センター

## 2日目:2月4日(金)

13:00~15:00 口頭発表

(座長:宮川、橋本)

至長:宮川、橋本)						
13:00~13:20	(2-01)	筑波地震観測所の建屋等撤去にともなう支援業務:水管傾斜計に含まれる 水銀含有物の分析およびその回収				
		○外西 奈津美、芹澤 正人、増田 正孝 地震研究所技術部				
$13:20\sim 13:35$	(2-02)	新中川地震地殻変動観測所について				
		山口 照寛				
		北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター				
$13:35\sim 13:55$	(2-03)	岩石破壊装置のサブ制御用 LabVIEW プログラムの作成				
		○竹内 昭洋 1・中谷 正生 2				
		東京大学地震研究所				
		1:技術部技術開発室(実験系)、2: 地球計測系研究部門				

$14:05\sim 14:25$	(2-04)	みんなで使える観測機材管理システムの構築
		○増田 正孝¹、田中 伸一¹、中川 茂樹²、酒井 慎一³
		東京大学地震研究所
		1:技術部総合観測室、2:地震火山情報センター、3:観測開発基盤センター
$14.25 \sim 14.45$	(2-05)	地震計のノイズ軽減を目指した温度観測システムの構築
		○秋山 峻寬、藤田 親亮、佐伯 綾香
		東京大学地震研究所技術部総合観測室
$14:45\sim15:00$	(2-06)	オンライン時代のイベントについて
		福井萌
		東京大学地震研究所広報アウトリーチ室

# ドローン搭載用3軸磁気センサーに付属させる物理センサーのデータロガーの構築(その2)

○浦野幸子(東京大学地震研究所 技術部技術開発室)小河勉(東京大学地震研究所 観測開発基盤センター)

### はじめに

ドローンに3軸フラックスゲート磁気センサーを搭載し、空中磁気測量を行う計画がある. ドローンの移動によってセンサー自体の姿勢が刻々と変化するため、地磁気の向きを算出するにはセンサーの姿勢も記録する必要がある. そこで3軸磁気センサーとともに、物理センサー(IMU)も搭載する.前々回の研修会では主にArduinoによるIMUの計測値の取得について紹介した(浦野・小河,2020). 今回はその後の進捗、および、IMUとGPSの出力を数日にわたって記録した結果について紹介する.

### 装置の構成

ドローンに搭載する装置全体の構成を図 1 に示す. 図に記載はないが, Arduino と IMU は Raspberry Pi 経由で給電する. 3 軸フラッ クスゲート磁気センサーと SciLogger は Raspberry Pi 用とは別のバッテリーを用意す る予定である. Raspberry Pi の内部時計を正 確な時刻に設定するため Adafruit Ultimate GPS モジュールを介して GPS アンテナを接 続し, Raspberry Pi 内に立てた NTP サーバ ーと時刻同期させている. (SciLogger も同じ 目的で GPS 情報が必要であるため, アンテナ

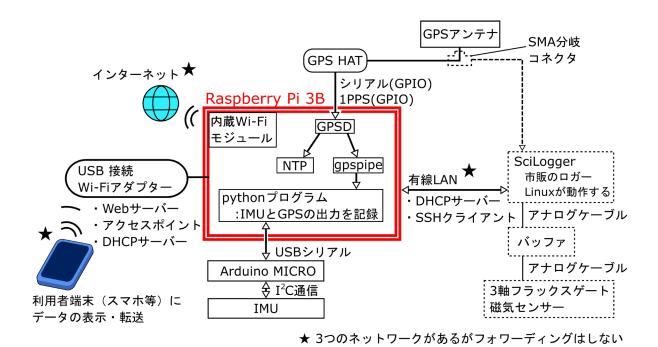


図1 装置の構成(点線部分は未着手)

信号を分岐させる予定である.) GPS 情報の一部は後の確認のため、IMU からのデータを収録する python プログラム内で収集、記録するようにした.

### ネットワークとデータの公開

データの回収は基本的には測量後に装置を 解体した上で Raspberry Pi や SciLogger 上の SD カードを回収することで行う. しかし観測 現場でもデータの確認を行えるように、利用者 の端末 (スマホ等) からの接続要求を受け付け、 Web サービス経由で収録データを表示・転送す る. そのために Raspberry Pi 上に Web サーバ ー, DHCP サーバー, アクセスポイント機能を 持たせている. Raspberry Pi3B 自身にも無線 LAN 機能があるが電波強度が弱いため、利用 者端末との通信には別途 USB 接続した Wi-Fi アダプターを使用している. 元々搭載されてい る無線 LAN 機能は(観測現場ではなく事前準 備の際など)安定した Wi-Fi(インターネット) 環境のある場所での通信に用いる. SciLogger との通信は有線 LAN であり, Raspberry Pi 側 から IP アドレスを割り振っている. このよう に Raspberry Pi 上にはデータの Web 公開, イ ンターネット接続、SciLogger との通信の3つ ネットワークが存在するが, それぞれ独立して おりフォワーディングはしていない.

### 動作テスト

SciLogger 以外の機能が揃ったので 9 月 10 日 $\sim$ 14 日の約 3 日半にわたって連続動作をさせた. 結果について紹介する.

### (1) GPS 出力

衛星数は7~15個捕捉されており,捕捉数には日周変動が見られた.計測期間中装置は移動していないが,緯度・経度の最大最小の範囲はそれぞれ0.003度,0.005度程度であり,距離にすると約330m,約450mの範囲であった.この数値が大きい原因としては,受信環境が良

好でなかった影響の可能性がある.

### (2)NTP サーバーのログ

オフセット (NTP サーバーとシステムクロックとの差)が $\pm 10$  マイクロ秒の範囲内に収まるまでに起動から 15 分程度かかるようであった. また, 起動から 50 分程度経過した以後は $\pm 1$  マイクロ秒の範囲内であった.

### (3)IMU センサー: 気圧

近くの気象台で公開されている気圧データと比較したところ、良い相関がみられた. 気象台の海面気圧値と IMU センサー気圧データの比から計算した高度差に、気圧の値にみられる変動は含まれておらず、GPS から得られる高度よりも精度の高い高度差推定値が期待できる結果となった.

### 今後

GPS 受信環境の良い場所での再計測を計画 している. また, SciLogger 側のデータ収録を 進める予定である.

### 猫文

浦野幸子・小河勉,2020,ドローン搭載用3軸磁気センサーに付属させる物理センサーのデータロガーの構築,令和元年度東京大学地震研究所職員研修会アブストラクト集,12-13,https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/kenshu\_iinkai/record/r01/pdf/R01\_Abst.pdf(参照2021-12-03)

## 阿蘇火山におけるドローンガス観測

### ○吉川 慎(京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター)

### はじめに

近年,小型無人機(ドローン)は,単純な空撮だけにとどまらず,過疎地や離島における物流,災害現場においての被害調査などにも用いられ,急速に利用の幅が広がっている.火山分野においても例外ではなく,噴火後の噴石・降灰の調査,赤外温度測定,磁場観測,火山ガス観測など,これまで地上で行なってきた観測をドローンを用いることで,簡便に実施出来るようになってきた.

本報告では、阿蘇火山において 2019 年から 2021 年までに 3 回実施したドローンを使った 火山ガス観測について報告する.

### 使用機材の概要と取り付け方法

ガス採取装置は名古屋大学によって開発され、それを火山研究センターが所有するドローン (DJI 社製 Spreading Wings S1000) に搭載して共同で観測を実施した。その中で、装置の搭載方法の開発と観測のオペレーションについては筆者が担当した。

搭載するガス採取装置は、長さ:230mm 幅: 180mm 深さ:90mm のプラスチック容器に収納され、その上面にサンプリングバッグが2つ取り付けられており、総重量は約1kg であった.

まず、機材を納めた容器を離着陸用のランディングギアに固定することを試みた.この左右のギア下部に、長さ:600mm 幅:50mm 厚さ:10mm に切った2枚のABS 樹脂を粘着テープの付いたケーブル固定用のバンドを用いて固定した.この土台の上に装置の入った容器を載せ、洗濯ネットを被せて結束バンドとミニクランプで固定した.

### 観測体制と初回の結果

ドローンのオペレーションは、操縦者とナビ ゲーターの2名、装置のオペレーションが2名、 ドローンと火山ガス(火山灰含む噴煙)の監視 報告を行う2名の計6名で行った.

初回となる 2019 年の観測では,7回(10min/回) フライトを実施し,6回ガスの採取に成功した.1回目のフライトでは,ガスの噴出位置を抑えられず採取する事が出来なかった.2回目以降は,同じく火山ガスの観測で訪れていた他機関の研究者が持参した無線式 SO<sub>2</sub> センサーを一緒に搭載し,濃度をリアルタイムで確認しながら行ったことにより,以降のフライトでは全て成功した.

### 初回の問題点と課題

### ・リアルタイム濃度モニタリングの必要性

観測を終えてからドローンの飛行履歴を解析したところ、1回目のフライトでは、 $2\sim7$ 回目より目標(火山ガスの上昇)地点の手前かつ比較的高高度でホバリングしていた事がわかった。観測地点については、離発着地点とそこから直交する2方向から火山ガスの上昇地点とドローンの位置を目視で確認していたが、2点間の距離が200-300mほど離れているため、これだけではドローンが上昇してきたガスの中に到達できたかを判断する事が非常に難しい事がわかった。こうした点を考慮して、以降の観測では無線式 $SO_2$ センサーを搭載する必要があると感じた。

### 装置固定方法等の利便性

ガス採取装置の固定は、結束バンドとミニク ランプで行っていたが、サンプリングバッグや 装置の電池交換を行う際には、ドローンを地面 に着陸させた後、バンドの切断、クランプの取り外し、洗濯ネットからの取り出しを行う必要があった。ドローンからはローターのついた 8本のアームが伸びているため、装置の取り外しに毎回結構な時間を要した。火山ガスの観測は気象条件に左右されるため、風向きやガスの噴出量によっては作業を中断せざるを得ないことも多々ある。また、2019年の阿蘇火山は、火山灰を伴った噴火状態であったため、ドローンをガスの採取地点に運ぶタイミングも大変重要であった。したがって、一連の作業がスムーズに行えるよう、作業台の製作及び装置の搭載方法について改善が必要だと感じた。

### 改良による効率化と結果

初回(2019年)の観測では、上述の問題点と課題が浮き彫りとなったため、双方で改良点を協議し、ガス採取装置と収容容器については名古屋大学にて改良が行われた。また取り付け作業等の効率化を図るため、ドローンを載せられる作業台を筆者が製作した。これらの有効性の検証も兼ねて、2020年10月に再度ガス観測を実施した。また、前回と違い火山灰の放出がなかったため、新たな試みとして、第1火口からのガスと南壁噴気地域からのガスを分離して採取するため、それぞれの場所に近い位置に離発着地点を設けた。前回の問題点が改善されたこともあり、実施した全てのフライト(7回/10min)で成功し、観測中の作業もスムーズであった。

2021年にも同様の場所から実施する予定であったが、同年10月に水蒸気噴火が発生し、噴火警戒レベルが3になったこともあり、火口近傍での作業が困難となった。したがって、1km ほど離れた麓から実施することになった。装置を搭載したドローンを効率よく火山ガスの上昇地点まで運ぶため、もう1機のドローンを火口付近で待機させ監視を行った。今回は、装置や取り付け方法の改良はな

かったが、ガスを吸引する際に途中で凝結しないよう、装置内部とチューブの周りにカイロが貼り付けられた. これにより前回より重量が 1kg ほど重くなったが、7回のフライト中6回採取に成功した. 今回は 1km ほど離れた地点からのフライトかつ重量が増えたことで飛行可能時間の短縮もあったが、概ね成功することができた.

### 今後の課題

上述の通り 2021 年の観測は概ね成功を収め たが、いくつか問題もあった.一つは、7回の フライト中3回,飛行中に機首が勝手に右旋 回することがあった. 原因については未だ解 明できていないが、これまでに見られなかっ た症状であることから、カイロをチューブに 取り付けたことによる重量の増加が一因では ないかと考えられる. さらに、噴煙の上昇す る位置によっては、プロポとドローン間の距 離制限(1km)を超えてしまうこともあり, 電波断に伴う RTH (自動帰還機能) が作動す ることもあった. また, それに伴ってプロポ とドローンの接続が切てしまい、マニュアル 操作ができなくなる症状も発生した. これに ついては、観測後に業者や他機関の研究者に 確認し対処法を得ることができたが、同様の 事態を避けるために、今後はできる限り深追 いをせず距離制限の範囲内でオペレートする ことを心がけたい.

Shingubara, R., Tsunogai, U., Ito, M.,
Nakagawa, F., Yoshikawa, S., Utsugi, M.,
Yokoo, A., 2021, Development of a droneborne volcanic plume sampler, Journal of
Volcanology and Geothermal Research,
Vol. 412 107197.

吉川慎,2020, ドローンを用いた火山ガス観測について,2019年度理学研究科技術部業務報告集,10,8-10.

# 2014年口永良部島火山噴火以降の観測について

園田忠臣(京都大学防災研究所 技術室 勤務地:火山活動研究センター)

### はじめに

口永良部島は、屋久島の西方 14km に位置する火山島で、記録に残されている最古の噴火は、1841 年である. その後、1933 年から 1934 年の噴火活動にはじまり、1945 年には、新岳火口東外壁で割れ目爆発、1968 年から 1969 年の噴火活動、1976 年に新岳山頂火口で爆発、1980 年には新岳東側の割れ目から水蒸気爆発が発生している. 近年においては、2014 年 8 月 3 日に新岳山頂火口より水蒸気爆発が発生し、新岳火口から概ね 1km の範囲に火砕サージが流下し、山林に被害が生じた[1] (為栗・他 2016)(図1). 今回は、この 2014 年 8 月 3 日の噴火前から現在までの観測について報告する.



図 1. 2014 年 8 月 3 日噴火後の口永良部島. 撮影日は 2014 年 8 月 21 日. 火砕サージが 流下した山林は茶色に変色している.

### 2014年口永良部島火山噴火前までの観測

京都大学火山活動研究センターでは、1980年の噴火後に測量用の基準点を数点設置したが、地盤変動観測を強化するために 1995年にGNSS のベンチマークを、また、1996年には水準測量のベンチマークを島の西部に設置し(図2)、地盤変動観測を繰り返してきた<sup>[2]</sup> (井口・

他 2002). また,1991年12月に発見された新岳の噴気異常を契機に,新岳火口の西方0.4kmの地点において火山性地震の常時観測を開始し,その後,新岳火口周辺および山麓域において,地震観測体制を強化してきていた(図3).

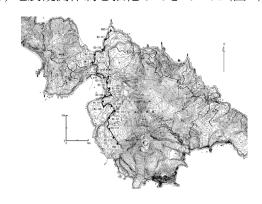


図 2. 口永良部島火山の水準測量路線



図3.2014年8月3日口永良部島火山噴火 前までの地震観測点図

### 2014年から2015年4月までの観測

先ほどの(図3)で示したとおり、当時口永 良部島新岳山頂火口および古岳周辺域におい て、地震観測点が複数点設置されていたが、 2014年8月3日の噴火発生直後から、各観測 点からのデータ伝送は順次途絶えていった.こ のままでは、火山活動状況が何も分からなくな ってしまうので、少しでも山頂に近づける場所を選定し、2015年1月に新規地震観測点を設置した(図4). また同時に、2014年8月3日の噴火以降、口永良部島の地盤変動状況を確認するために、GNSSキャンペーン観測の実施、短い期間内に、水準測量を繰り返し実施してきている.



図 4. 2015 年 1 月設置臨時地震観測点

2015年5月29日に, 新岳山頂火口よりマグ

### 2015年5月口永良部島噴火以降の観測

マ性爆発が発生し、噴煙の高さは9000m以上に達し、新岳火口西側斜面においては、前田集落近傍の向浜付近に達する火砕流が発生した[1] (為栗・他2016).この時の噴火を受け、噴火警戒レベル導入後初のレベル5が気象庁から発表され、口永良部島の住民は、全島避難となった。その後、6月18日にも島外まで火山礫を飛ばす、大きな噴火を起こしている。

相次ぐ噴火を受け、山麓付近で稼働していた 観測点についても、その影響を受け始めていた。 また、全島避難を受けて、住民が居なくなると、 口永良部島の電力供給元である火力発電所の 継続稼働ができなくなり、電力供給が止まるこ とから、観測を続けることが困難になりつつあった。そこで、2015年7月に全島避難後初め ての入島許可が出た際の第一回帰島船にて入 島し、商用電力で観測をしていた箇所を、ソー ラー発電に切り替える作業を実施した。

その後は、屋久島から口永良部島まで漁船をチャーターし、行動できる範囲内で順次、地震

観測点メンテナンス作業,オフライン観測していた GNSS 観測点のオンライン化,水準測量を繰り返し実施してきている。そして 2015 年 12 月 25 日に屋久島町から口永良部島へ出されていた避難指示が解除となり,住民の帰島が実現することになった。

住民の帰島後も、繰り返し水準測量観測、GNSS 観測点増強、地震観測点のメンテナンスおよび新設、Xバンドレーダーの設置等、行動できる範囲内において、観測を継続している.

### 現在の観測

2019年1月17日と29日にも火砕流を伴う噴火を起こしている。そして、2020年2月3日の噴火でも噴煙の高さは6000m以上に達し、火砕流も発生している。このように、未だ火山活動が続いていることから、山頂部の観測点復旧には至っていないが、より山頂部に近づけるかつ観測が手薄な新岳火口の西側付近に、新規地震観測点を設置する予定にしている。

### 謝辞

本稿内の図の作成にあたっては,国土地理院発 行の2万5千分の1地形図と国土地理院地図 (新版)を使用した.

### 参考文献

- [1] 為栗健・井口正人・中道治久・山本圭吾 (2016): 2014~2015 年口永良部島噴火の 調査報告,京都大学防災研究所年報,第59 号 A,pp85-90.
- [2] 井口正人・山本圭吾・味喜大介・高山鐵朗・ 寺石眞弘・園田保美・鬼澤真也・八木原寛・ 平野舟一郎 (2002):口永良部島火山にお ける地盤変動,薩摩硫黄島・口永良部島の 集中総合観測,pp99-108.

# 低価格低消費電力 GNSS 受信機を用いた 御嶽山頂火口周辺における観測点の設置

○松廣健二郎(名古屋大学全学技術センター 計測・制御技術支援室, 地震火山研究センター)

### はじめに

2014 年の御嶽山の噴火以降名古屋大学地震 火山研究センターでは御嶽山での観測を強化 しており 2015 年より山頂域において毎年夏季 にキャンペーン GNSS 観測を行い火山活動に よる地殻変動の観測を行ってきた。その観測機 材は観測点 1 点あたり約 5 kgにもなり 11 点 の観測点を設置・撤去するためにはかなりの労 力を要した。また観測期間も1~3週間程度の ため観測精度に不安が残るところであった。観 測精度の向上や労力削減のためには観測点の 定常化が望ましいものの現在使用しているG NSS受信機は1点あたり200~300万円 と高価で山頂の厳しい環境においては損傷や 紛失の可能性もあることからリスクが高かっ た。また消費電力が 4W近くあることから電源 系統、特にソーラーパネルが少なくとも40W 以上は必要となりその設置が大掛かりになる ほか山頂付近の厳しい環境ではパネルが吹き 飛ばされる可能性があることから定常観測点 化するにはハードルが高かった。しかしながら 近年低価格・低消費電力で 2 周波受信可能な GNSS モジュールが登場したことから御嶽山 山頂にそれを用いた観測点を設置し試験的に 運用を開始した。

### 低価格低消費電力 GNSS 受信機

観測に用いた GNSS 受信機およびアンテナを図2に示す。GNSS 受信機には u-blox 社製 ZED-F9P を用いた。実際使用するためにはそれを搭載したボードが必要であり今回 SparkFun Electronics 社製ボード(GPS-

16481)を用いた。このボードにはデータを保存する機能がないためボードからの出力を保存先が必要であった。消費電力を低く抑えることを第一としオフライン観測に特化してシリアル入力をマイクロSDカードに保存するだけの機能を持った SparkFun Electronics 社製OPENLOG を使用することとした。アンテナには u-blox 社製アンテナ (ANN-MB-00-00) を用いす160×3mm のステンレス製円板に貼り付けレドームとしてケニス社製の天球を取り付けた。消費電力としては約 0.8W と低く抑えることができるとともに費用も5万円ほどで製作することができた。



図 1. キャンペーン GNSS 観測点 (剣ヶ峰)

### 御嶽山火口周辺への定常 GNSS 観測点の設置

低価格低消費電力 GNSS 受信機を用いた御 嶽山山頂域での観測点の設置では電源には図 3 (右) に示すようにソーラーパネル 6W×3 枚を使用した。パネルを小分けにしたのは岩へ の張り付けやすさと冗長性を高めるためであ る。バッテリーにはリン酸鉄リチウムバッテリ -12V20Ah を用い電菱社製 SolarAmp Mini で 充放電制御を行った。バッテリーや受信機等は ペリカンケースに収納し土嚢袋を被せて設置 した。観測点の設置は昨年度にまず剣ヶ峰山頂 および王滝頂上の2点で行い試験的に観測を開 始した。冬を越した今年度6月にデータを回収 したところ予期せぬデータの途切れは発生し たものの剣ヶ峰山頂の観測点では完全に止ま ることなく観測を行うことが出来た。データが 途切れる問題に関して瞬間的な電源供給停止 が原因と考えられることから改修策を講じ定 常観測に目途がたったことから御嶽山火口周 辺を中心に今年度新たに6点の定常 GNSS 観 測点の設置を行った。

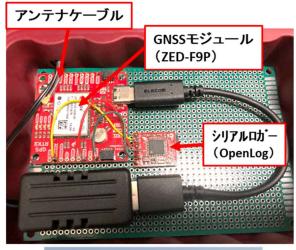




図2. 受信機(上)及びアンテナ(下)



図 3. 御嶽山火口周辺 GNSS 観測点配置(左)と設置写真(右).

# バッテリー容量復活の試み

○**秋山峻寬,渡邉篤志**(東京大学地震研究所 技術部総合観測室)

### はじめに

バッテリーは地震・火山観測機器を構成 する装置の一つで重要な役割を担う. 例え ば、商用電源を用いる観測点では停電の際 の電源のバックアップをしている. また, 太 陽光パネルを用いる観測点やオフライン観 測点では主電源として使われる.停電や日 照不足に陥ったとき, バッテリーによって より長時間給電できることが望ましい. し かし、バッテリーは消耗品でありその放電 容量は時間とともに低下してしまう。放電 容量の低下したバッテリーに対しては高電 圧・高電流で充電する「リフレッシュ充電 | を行うことでバッテリーの活性化が期待で きる. そこで, 放電容量の低下した使用済み バッテリーの容量を復活させようとリフレ ッシュ充電と通常の充電,放電を1回とし てこれを8回行った. その結果, 容量が31% 増加した (図1). 他の使用済みバッテリー でも容量が復活するか確かめるため、同型 のバッテリーで充電方法を色々に変えて容 量復活を試みた、本発表ではこの試みにつ いて報告する.

### 実験手法

実験したバッテリーは使用済みの SEBANG GLOBAL BATTERY 製のセミサイクル用バッテリーSMF27MS-730 である. 容量は20時間率で105Ahである. 充電器として, 錦之堂が輸入発売を行う多機能バッテリー充電器 OP-BC02 (以下, オメガプ

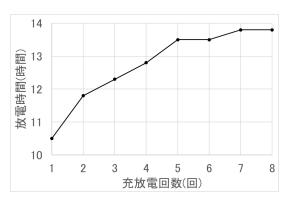


図 1: 放電容量の低下したバッテリーを初めて復活させたときの放電時間の変化を示すグラフ. 縦軸は満充電状態から 5.25A で放電させ 10.7V になるまでの時間. 横軸はリフレッシュ充電→通常の充電→放電を 1回とし、これを繰り返した回数.

ロ)を使用した. オメガプロではバッテリ ー活性化のため高電圧・高電流で充電する リフレッシュ充電を 30 分間行う機能があ る. バッテリーの放電には B&K Precision 製の 8540 型直流電子負荷(以下,電子負荷) を使用した. 本実験では 5.25A で放電させ た. 105Ah のバッテリーを 5.25A で放電さ せると放電終止電圧に低下するまで 20 時 間継続するはずである (5.25A× 20h=105Ah). 放電中, バッテリーの過放電 防止のため東京デバイセズ製のバッテリー 過放電防止モジュール IW8990 を, 電圧値 と放電時間の記録のためティアンドデイ製 の電圧データロガーVR-71 をそれぞれ使用 した. バッテリーの保護のため放電を 10.7V で止めるよう IW8990 に設定した.

充電と放電を終えるたびにバッテリーの内部抵抗と電圧を測定した. これらの測定には日置電機社製の 3551 バッテリハイテスタを使用した.

以下に示す手順で充放電を行った.

- 使用済みバッテリーをバッテリー充電器の通常充電モードで満充電状態にする. その後, 5.25A で放電させ, 10.7V になるまでの時間(以下, 放電時間)を測定する.
- バッテリー充電器で通常充電する.
   比較のため通常充電前にリフレッシュ充電を行うものと行わないものと
   2通りの方法で行った.
- 3. 5.25A で放電させ放電時間を測定する.
- 4. 上記の 2~3 を繰り返し放電時間が 増えるか確かめる.

### 実験結果

実験 1 台目はリフレッシュ充電を行わず 通常充電のみとした. 1 回目の放電時間は 10.0 時間だったが充放電を繰り返すと 3 回 目の放電で 5.3 時間まで低下した(図 2). 4 回目以降,通常充電の前にリフレッシュ 充電をすることにしたが容量は増えず最終 的に 5 回目で 4.8 時間まで減少した.

2 台目も通常充電のみとした. 1 回目の放電時間は 10.7 時間だったが、2 回目の放電を開始した瞬間に電圧が急減して IW8990 が放電を停止した. 再度, 通常充電を試みるもエラーが出て充電できなかった. 回復措置としてオメガプロの「メンテナンスモード」により低電流で充電を行ったが、その後通常充電もリフレッシュ充電もできなかった. このときの内部抵抗は 27.04mΩで通常

の 5 倍程度大きかった。セル内でサルフェーションなど何かしらの不良が起こったと 推測している。

実験中である 3 台目以降の結果はポスターにて報告する.

### まとめ

オメガプロのリフレッシュ充電によりバッテリー容量の復活を試みたが個体によって復活するものとしないものがあった.他の種類のバッテリーでも容量の復活ができないか試したい.

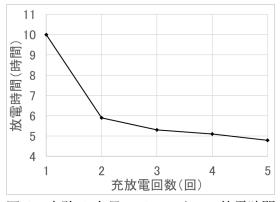


図 2:実験 1 台目のバッテリーの放電時間の変化を示すグラフ. 放電 2 回目に放電時間が急減した。

# リン酸鉄リチウム電池の紹介

渡邊篤志 (東京大学地震研究所 技術部総合観測室)

### はじめに

鉛電池は、160年以上の歴史の中で様々なタイプが開発・実用化されており、広く普及している扱いやすい二次電池である。現在、野外で観測装置を稼働させるための電源などとして多く利用されている。歴史が長いため技術が枯れて安心して使用できる反面、重量当たりのエネルギーが低く、約500サイクルの充放電で寿命を迎えるなどの短所がある。

この短所を克服した電池にリチウムイオン電池がある.しかし、起電力の違いや充電時に高精度の電圧制御が求められることなどから、野外観測への利用は進んでいなかった.近年、鉛電池の起電力(12.0V)に近い12.8Vの起電力を持つリン酸鉄リチウム電池(以下,LFP電池)が容易に入手できるようになったので、鉛電池からの置き換えを念頭に簡単な充放電試験をしたので紹介する.

### リン酸鉄リチウム電池

LFP 電池はリチウムイオン電池の一種で、正極材にリン酸鉄リチウム (LiFePO4)を用いる. リンと酸素の結びつきが強いため内部発熱があっても結晶構造が壊れにくく、発火しにくい安全性が高い電池だと言われる. 1 セルあたりの起電力は 3.0~3.3V で、3.2V のセルを 4 つ直列にして 12.8V にするものが多く、密閉型鉛電池との置き換えが可能である. また、他のリチウムイオン電池に比べてエネルギー密度が劣るものの、コバルト、マンガン、チタンなどの高価な原材料を使用しないので、比較的安価に製造できることも特徴である. 近年は中国で電気自動車に LFP 電池を搭載する動きが広まっており、日本国内でも流通量が増えてきてい

る.

LFP 電池の大きさは AGM 鉛電池と同程度 ではあるが、重量は半分以下と軽量である. 充 電電圧は 14.4±0.2V で, 1C での急速充電も可 能である. 鉛電池と異なり過充電や過放電に非 常に弱いため制御回路を内蔵し、10V 台後半で 放電を停止する製品が多い. 一般的に, 鉛電池 は劣化しないように放電深度を 90%程度に抑 えるが、LFP 電池はより深い放電ができる. 充 電には多くの密閉型鉛電池用充電器を流用す ることができるが、リフレッシュ充電のような 高電圧パルス充電は電池を痛めるので注意を 要する.他のリチウム電池と同じく自己放電が 少なく,寿命は4,000 サイクルを超えることが 期待される. 加えて、リチウム電池であること を明示すれば輸送に宅急便を利用できること は、遠隔地で使用する際には大きな利点である. 一方、低温では性能(特に充電)の低下が著し く、0℃以下では制御回路により充放電を停止 するものや、5℃以下になると内蔵ヒータが作 動するものもある. 寒冷地での使用には工夫が 要りそうである.

### 小型リン酸鉄リチウム電池の放充電試験

LaCoste 相対重力計に使用しているバッテリを LFP 電池に置き換えられないか検討するため、放充電試験を行った。検討した LFP 電池はRoyPow 社の S1206 (12.8V - 6Ah, 0.86kg)である。従来利用している GS ユアサ社のPXL12072 (12V - 7.2Ah, 3.0kg) と全く同じ大きさで、エネルギーは 0.89 倍、重量は 3 分の1 未満である。

放電試験では、公称電圧で同じ消費電力となるよう放電電流を PXL12072 は 0.64A, S1206

は 0.6A とした (図 1.). 充電試験は, 無負荷状態の LaCoste 電源での PXL12072 と S1206 の充電 (図 2.) と, 直流電源装置を用いた 14.4V - 1.0A での S1206 の充電 (図 3.) を行った.

試験の結果,日中の往復測定での使用に問題ない放電性能を示し,一晩で満充電になることが分かった.

### 中型リン酸鉄リチウム電池の放電試験

中型の LFP 電池として Ampere Time 社の 12V 50Ah PLUS (12.8V - 50Ah, 19.8×16.6× 17.0cm, 6.5kg) を様々な電流で放電試験を行った(図 4.). 10.0A で放電すると電圧が若干低めであったが,鉛電池のような放電電流による放電量の違いはあまり見られなかった.負荷の大小によらず放電可能時間が予測しやすい,安定した電源であると言えよう.

**謝辞**:本報告は、東北大学の山本希准教授に リン酸鉄リチウム電池を紹介して頂いたこと がきっかけになりました。ここに記して感謝 致します。

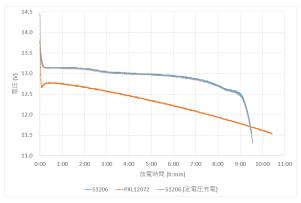


図 1. 小型電池 (6Ah, 7.2Ah) の放電曲線

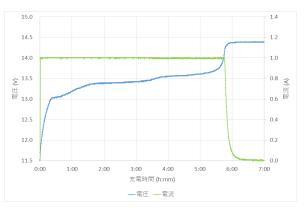


図 3. DC 電源での充電曲線

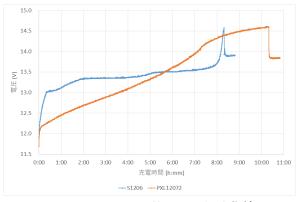


図 2. LaCoste 電源での充電曲線

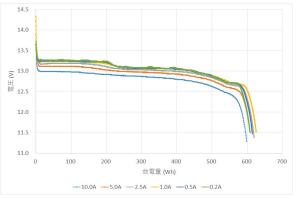


図 4. 中型電池 (50Ah) の放電曲線

# 海底ケーブル釜石局舎地下ピットにおける広帯域地震観測点の構築 ~簡易耐圧容器を用いた長周期ノイズの軽減~

○橋本 **匡・田中伸一**(東京大学地震研究所 技術部総合観測室) **篠原雅尚**(東京大学地震研究所 観測開発基盤センター)

### はじめに

東京大学地震研究所は三陸沖で発生する地震・津波を観測するため、1996年に三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムを設置した。システムの陸上局舎は岩手県釜石市にあり、東北地方太平洋沖地震に伴う津波によって流出してしまったが、2014年に津波に耐えうる構造で再建した(田中ほか、2014)。

2020年にはケーブルシステムを利用した光ファイバ分散型音響センシング計測(DAS)とエアガン、ハイドロフォンストリーマ、海底地震計による高精度地下構造探査実験が行われ、陸上局舎にリファレンスとして広帯域地震観測点(釜石八木浜観測点)を設置した.設置した地震観測点では地震イベントの収録はできていたものの、長周期ノイズがしばしば発生していることがわかり、気密性の高い建物構造が関係していると推察した.

構造探査実験が終了し釜石八木浜観測点も 撤収したが、三陸沖光ケーブル式海底地震・ 津波観測システムでの DAS 観測が定期的に行 われるようになったことで、釜石八木浜観測 点を再設置し定常的に観測することとなっ た. 本発表では陸上局舎の地下ピットに再設 置した釜石八木浜観測点について報告する.

### 観測機器と設置

釜石八木浜観測点の主な機材構成として, センサーは Nanometrics 社製の Trillium Compact (固有周期:120秒)、ロガーは白山 工業製の LT-7700 を使用し, UPS (オムロン 製 BW55T) にて電源をバックアップしてい る. LT-7700 の設定は、サンプリング周波数を 100Hz、形式分解能を 24bit、フィルタを最小位相とし、ACT プロトコル(森田ほか、2010)にて地震研究所のサーバーにリアルタイムで地震波形データを伝送/蓄積させている. また、LT-7700 は気圧・気温・湿度計を内蔵しており、リアルタイムでそれらのデータを取得できる. これらの機材を釜石局舎の地下ピットに設置した.

釜石局舎は大地震,大津波に耐えられるよう,地盤アンカーを8セット打ち込み,地下ピットの床は厚さ1.5mのコンクリートを打設しているため,その基礎は非常に強固で,地盤とよくカップリングしている.

FOG コンパス (日本航空電子工業製 JM7711) を用いて地下ピットの真北を求め、 Trillium Compact の方位を真北に合わせて設 置した. また、その足は接着剤

(CEMEDINE 製 スーパーX ゴールド) で コンクリート床に固定した.

### 長周期ノイズの発生と対策

機材を地下ピットに設置し、耐圧扉を閉めると、UD 成分に長周期ノイズが見られた.このノイズが発生している状況で気圧を測定したところ、暖房時に約5hPa 上昇し冷房時に約5hPa 低下しており、局舎のエアコンの動作と連動していることをつきとめた. UD 成分で周期約25分、振幅約2.5 x 10<sup>-5</sup> m/s と長周期帯の観測に影響がでるレベルのノイズだったことから、気圧変化や空気の対流の影響を軽減させるため、簡易の耐圧容器を被せ

てみたところ(図 1),ノイズの振幅が約 3.5 x  $10^{-6}$  m/s となり,簡易耐圧容器をかぶせる前の振幅の 14%と大幅に小さくなった.その後,長周期ノイズの振幅が小さい状態で地震観測を継続できている(図 2).

### まとめ

海底ケーブル釜石局舎の地下ピットに広帯 域地震観測点を構築し、定常的に地震イベン トを観測する体制を整えることができた。ま た、簡易耐圧容器を用いることである程度長 周期ノイズを低減することができた。一方で 長周期ノイズを完全に解消するには至ってお らず、より詳細な長周期ノイズの原因究明を 行う必要がある。

### 女献

田中伸一・宮川幸治・八木健夫・荻野 泉・山田知朗・酒井慎一・卜部 卓・篠原雅尚, 2014, 三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観 測システム 釜石陸上局舎の再建,東京大学 地震研究所技術研究報告, No. 20, 25-33 頁, doi:10.15083/00032144.

森田裕一・酒井慎一・中川茂樹・笠原敬司・平田 直・鏡 弘道・加藤拓弥・佐藤峰司, 2010, 首都圏地震観測網(MeSO-net)のデータ伝送方式についてー自律協調型データ送信手順(ACT protcol)の開発ー,東京大学地震研究所彙報,84,89-105.



図1. 地下ピットの広帯域地震観測点設置風景. 寸胴の鍋を簡易耐圧容器としてセンサーを保 護している.

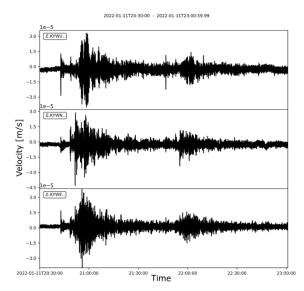


図2. 釜石八木浜観測点で観測された波形. 上から上下動成分,南北成分,東西成分. 2022/01/11 21:39 頃,アラスカで発生した M6.5 の遠地地震.

# 単1乾電池160本を用いたポータブル臨時観測装置の紹介

○**宮川幸治・藤田親亮**(東京大学地震研究所技術部総合観測室) 浦野幸子(東京大学地震研究所技術部技術開発室)

飯高隆 (東京大学大学院情報学環・地震研究所地震予知研究センター)

### はじめに

南米チリにて臨時オフライン地震観測を実施するために、2018年度に技術開発室と協力して7式のポータブル臨時観測装置を製作した.本装置は2021年8月にチリから戻って来ており、利用希望者がいれば貸し出しが可能なので、ここで本装置の概要を紹介する.

### 観測装置の概要

本装置は、南米チリのタイタオ半島(図 1a)にて、短周期地震計によるオフライン観測を約1年間実施するために開発された。当初、地震計にLennartz LE-3Dlite MKII(図 1c)、収録装置に計測技研製 HKS-9700a-05(図 1d)を使う事のみが決まっている状態だったので、設置方法や電源などについてはチリの研究者も交えて検討し、以下の点を考慮してデザインした。

- 1. 観測点候補地には、図 1b のように岩盤が出ている所もあるので、可能な限り岩盤上に地震計を設置して欲しいとの事だった.そこで岩盤上に設置する際は、地震計の足をセメントパテで固定し、更に地震計にカバー(図 1e)を被せるスタイルにした.カバーは塩ビ管継手である掃除口を用いる事により、蓋を開ける事で内部の地震計の状態を上から確認出来るようにした.また岩盤設置が難しい場合は、埋設する事とした.
- 2. 観測期間は 1 年間で、半年経過時点で現地保守を入れる予定にはなっていたが、保守出来なかった場合を考慮した電源設計をした。 冬期に積雪する場所もあるのでソーラーパネルの設置はせず、輸出入時のトラブ

ルを避ける目的と,現地でも購入可能な製品とする目的で,電源には単 1 乾電池を用いる事にした.また冬期の低温に伴う容量低下のリスクも考慮して,最終的に,160 本搭載可能な装置にした.気温 20<sup> $\circ$ </sup> $^{\circ}$ 程の環境ならば,エボルタ NEO 乾電池を使用する事で,約 1.5 年観測可能な計算となっている.

3. 160 本の単 1 乾電池は,8 直ケースを20 式並列接続する形とし,防水ケース (Pelican1600;図1f)に収録装置・GPS アンテナと共に収納した.但し,積雪地域もある事から,外部GPS アンテナも接続できるようにした.

Design of Temporal Offline Seismic Station in Chile Observation area(Red Circle) Example of installation site 7 stations will be deployed on land (c) (d) Digitizer: HKS-9700 Sensor: LE-3Dlite (1Hz) (e) (f) Sensor cover (PVC socket) Case for digitizer and D cell batteries Schematic of the system External GPS antenna GPS antenna(inside) (g) (optional) D cell batteries HKS-9700 (160cells) Digitizer Power (=8cell\*20units)

図 1:設置エリア(a)・設置環境(b)と構成(c-g)

Pelican1600 Case(Waterproof)

Sensor cable

(3m)

LE-3Dlite

単1 乾電池 8 直ケースにはコネクタ付きリード線が取り付けられており、差し込むだけで容易に電圧測定可能な電圧チェッカーも用意した(図2).電圧チェック後、防水ケースに20式を収納し、コネクタを並列接続すれば乾電池の準備は完了である(図3).

岩盤上に地震計を設置する際のイメージを図4に示す。地震計はセメントパテなどで岩盤に固定する。地震計を風雨や動物から守る地震計力バーは、ハンマードリルで岩盤に穴を開けて埋め込んだアンカーボルトを起点にして、ステンレスワイヤーで固定するが、アンカーボルトの設置が困難な場合は、セメントパテなどで固定する。収録装置や電池が格納された防水ケースについては、ビニールシートで覆った上で、固定が必要な場合はこちらもステンレスワイヤーで地面に固定する。

### 最後に

興味のある方は是非利用して頂きたい. 乾電池駆動なので、運搬上の制約が少ないメリットがある事から、航空機で緊急観測に向かう時などに有用と思われる. 本装置はオフライン観測を前提に開発されたが、小型のモバイルルータならば、防水ケース内に収める空間的余裕はあるので、オンライン観測にも流用が可能である. 但し、貸出対象は地震計カバー・単1乾電池8直ケース・防水ケースであり、地震計と収録装置は含まれていない. これらの準備については、地震研究所の共同利用の枠組み(共同利用コード 2021-M-01 や 2021-M-02)を利用するのも1つの方法である(東京大学地震研究所共同利用・共同研究拠点概要ホームページ).

### 文献

東京大学地震研究所共同利用・共同研究拠点 概要ホームページ, https://www.eri.utokyo.ac.jp/kyodoriyou/, (参照 2022-1-14). **謝辞**:本装置の開発にあたり,東京大学地震研究所共同利用(2019·M·01,2019·M·02),及びJSPS科学研究費補助金(課題番号:18H01304,研究代表者:木下正高教授)の助成を受けました.

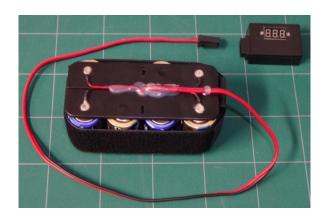


図2:単1乾電池8直ケースと電圧チェッカー



図 3: 防水ケースの内部. 左側に 20 式の単 1 乾電池 8 直ケース,右側に収録装置が収納されている.



図 4: 観測時の設置イメージ. 右側に地震計と 地震計カバー, 左側に防水ケースがあり, 防水 ケースはビニールシートで覆われている.

# 筑波地震観測所の建屋等撤去にともなう支援業務:水管傾斜計に含まれる水銀含有物の分析およびその回収

東京大学地震研究所 技術部 技術開発室 **今内西奈津美** 総合観測室 **芹澤正人・増田正孝** 

### ・はじめに

筑波地震観測所(以下,観測所)の前身は、震災予防調査会によって1921年に設立された筑波山微動観測所である。1923年の関東大震災を契機に、1927年に東京大学地震研究所に移管された。現在に至るまで様々な観測・実験が行われているが、時代とともにその役割も変わってきている。観測所の無人化以降、敷地内の建屋等の整理・回収が進められている。

本発表では、観測所の横坑に設置されている読み取り型水管傾斜計の撤去・回収について、予備調査から撤去・回収、廃棄物の排出作業までの過程を報告する.

### ・読み取り型水管傾斜計について

読み取り型水管傾斜計(以下、水管傾斜計)の水タンク断面の略図を図1に示す. 2つの水タンク(以下、ポット)をガラス管でつなぎ、それぞれのポットの液面の変動差から、鉛直方向の変動を測定し離れた2地点間の傾斜角の変動を測定している.ポット内の液面と読み取り針(以下、マイクロメーター)が一致するようにマイクロメーターの先端を操作し、その値を1/1000mmまで読み取る。マイクロメーターはポット内の台座にネジで固定されており、そのネジ穴から封入水が漏れるのを防ぐため水銀が封入されている.

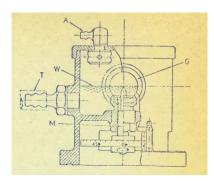


図 1 萩原式の読み取り型水管傾斜計の水タンク断面 (笠原慶一著 地殻変動連続観測テキスト(1972)より抜粋) A:空気孔, G:ガラス窓, M:マイクロメーター, T:ガラス水管, W:水面

### ・水銀の性状および排出基準

水銀は常温・常圧下で唯一の液体の金属元素である。水銀は空気中で容易に気化し、 その蒸気は人体・環境に対して非常に毒性が高い。

水銀を含む物質や製品を処分・廃棄する場合には、環境省の定める環境基準(排水基準としては 0.005 mg/L 以下、土壌含有量基準は 15 mg/kg 以下)に沿って適切に処理することが求められる。仮に水管傾斜計の水銀を外部にこぼしてしまった場合、水銀と接触した土壌をはつるなどして地下水の汚染を防ぐための対策を行わなければならなくなる。

### ・水銀含有物の元素濃度分析

水管傾斜計の撤去に伴う事前調査として、2つのポット(横坑入り口と横坑奥)

内の水および水管結合部直下の土壌を一部 採取し、水銀含有物の元素濃度分析を行なった.分析にはベントチップ型四重極型 ICP-MS XS-2(ThermoFischer Scientific 社製)を用いた.分析に用いた 試料は以 下の手順で溶液化された.

### ・分析の前処理手順

1: 水試料中の不純物を取り除くため、シリンジにフィルターを取り付け、濾過した試料をポリ瓶に採取する.

2:濾過した溶液 2ml をテフロンビーカー に測りとる.

3:内標準として標準溶液 Indium(In)と Bismuth(Bi)を溶液中の濃度が 5ppb にな るようそれぞれ加える.

4:濃度 2%に調製した HNO<sub>3</sub> を用いて溶液総量が 10ml になるよう希釈する.

\*土壌試料はオーブンで乾燥させたのち、1g を測りとり、濃度 2%に調製した $HNO_3$ で 10ml に希釈した。付着している水銀を抽出したのち、水試料と同様の手順で前処理を行なった。

\*標準溶液は水銀(Marcury:Hg)濃度が 5ppb になるよう調整した.

### ・測定結果・計算方法および考察

測定の結果, 29元素 34同位体の信号強度が得られた. 試料溶液と標準溶液の元素の信号強度を比較し, 試料中の Hg 濃度を算出した.

その結果, 各試料中の Hg 含有量は, ポット中の水が最大で 29 ppb, 土壌が 0.3 ppb であった.

環境中の排出基準に照らし、水試料については水銀含有物として認定した。 また土

壌試料の水銀濃度は環境基準と比べ 1/50000の値を示したことから、土壌への 暴露・汚染はないと判断した.

### ・水管傾斜計の撤去・回収について

2021年7月8日に予備調査との傾斜計内部の封入水の回収を行なった.

2021年8月3日にガラス管の切断・撤去と金属水銀を含むポットの回収を行なった.

### ・実験系廃棄物の廃棄手続きについて

今回の回収物は実験系廃棄物の中の化学的有害廃棄物に相当する. 化学的有害廃棄物はその性状(液状および固形)によって廃棄手続きが異なる. 水管傾斜計の封入水はA分類廃液として排出した. 金属水銀を含む水銀系固形廃棄物は, その母材(紙類, ビニール類, 金属類)ごとに分類し, S分類廃棄物として排出した.

### ・まとめ

- ・筑波地震観測所に設置された水管傾斜計の撤去にともなう予備調査として、水銀含有物の濃度測定を行なった。ポット内の水の水銀濃度は最大で29ppb、土壌の濃度は0.3ppbであった。
- ・水管傾斜計の撤去の際に回収した水銀 および水銀含有物について,本学の規定 に従い適切な排出を行なった.
- ・筑波地震観測所での経験を活かし、弥 彦観測所の水管傾斜計の撤去も既に行な っている. また次年度以降、富士川観測 所の水管傾斜計の撤去も行う予定であ る.

# 新中川地震地殻変動観測所について

○山口照寛(北海道大学 地震火山研究観測センター)

### はじめに

国土交通省北海道開発局では、国道 40 号音威子府バイパス建設を事業中である. 北大の天塩中川観測点(既存点)は、このバイパスから 50mの至近距離に位置することから、通行車両によるノイズが観測へ大きな支障が及ぼす可能性が強く予見された. このため開発局と北大で、施設の移転補償を実施することで合意した.

既存点では地山に三角形の横坑を掘削し、地 震計・伸縮ひずみ計・水管傾斜計・気圧計が設 置され観測している。新点においても同様に横 坑に観測機器を設置する。

本発表では新中川地震地殻変動観測所(新点) の状況を紹介したい.

中川町の位置を図1に示す.



図1. 中川町の位置

### 現在までの流れと運用開始予定

- ・2010年以前 開発局と移転交渉
- · 2010 年 地震計のみ仮移転
- ・2013年 移転候補地の調査
- ・2016年 トンネル設計
- ・2020-2021年 トンネル工事
- 2021 年 9 月 建築工事

- ・2021年10-11月 電気工事
- 2021 年 11-12 月 観測機器設置 (1)
- · 2022 年 5 月 観測機器設置(2)予定 設置完了次第,運用開始

観測坑掘削の「トンネル工事」,建具,内装などの「建築工事」,照明,コンセントなどの「電気工事」,観測機器設置・配線等の「機器工事」の4つに分けて工事発注を行った.

### 移転候補地の選定と横坑形状の決定

既存点, F-net 中川観測点の位置・地質図・ 断層などをもとに地質コンサル会社と相談の 上, おおまかな場所を選定した. (図 2)

その後,弾性波探査・電気探査・ボーリング 調査等を行い,詳細な場所の選定を行った.

トンネル形状(図3)は構造上安定するY型を当初,検討していたが,ボーリング調査で破砕帯と交差することが分かった.

そのため、土被りを確保しながら観測機器と破砕帯が交差しないよう $\Delta$ 形とし、S2,T2(ひずみ計 2、水管傾斜計 2)の成分と破砕帯が並行しないよう進入方向をN40°W とした.



図2. 既存点, 新点の関係

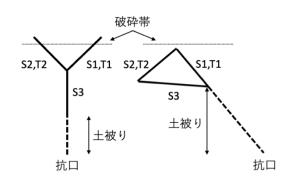


図 3. 横坑形状,平面図 当初案:左のY型 採用案:右のΔ型,N40°W 図中,Sはひずみ計,Tは水管傾斜計

### 担当した仕事など

### (1) 工事立ち会い

トンネル工事,建築工事,電気工事について何日か立ち会いをした.メール等で施工者に伝えた事柄でも実際には意図しない形で工事が行われそうになることも多く,監理の大切さを感じた.

図4に計測台設置の写真を示す.

機器工事はすべての日程で立ち会った. 地震 計設置の写真を図 5 に示す.



図4 計測台設置時の写真



図 5 地震計写真

### (2) 道路占用許可申請

電力線・通信線がなかった区間は道路沿いに 樹木が多く倒木などによる障害が予想された ため、地下埋設による引込みとした. 道路部 分の工事前に土地の所有者である中川町・北 海道にそれぞれ道路占用許可申請を行った.

### (3) 機器仕様書策定

地震計やデータロガー等の調達,センサ配線 等の工事を盛り込んだ機器仕様書の策定を担 当した.

補償工事のため観測運用に必要なすべてを含む形にすることもできたが、伸縮ひずみ計、水管傾斜計はこれまで北大職員のみで設置作業をしていたのと技術伝承などを考え、この2つについては部品設計・設置は北大職員が行うこととした.

### まとめ

「工事監理がよくないため、計測台の配置精度が良くなかった」、「ドアの位置をずらしたり、開き方向を逆にすれば物品を効率よく配置できた」など細かく気になる点は多いが総合すると、よい設置作業ができていると考える.

**2022** 年 **5** 月に運用開始が円滑にできるよう 準備を進めたい.

# 岩石破壊装置のサブ制御用 LabVIEW プログラムの作成

○**竹内昭洋**(東京大学地震研究所 技術部技術開発室) **中谷正生**(東京大学地震研究所 地球計測系研究部門)

### はじめに

東京大学地震研究所が現有する岩石破壊実験装置は、球形圧力容器内に岩石試料を設置し、高温高圧な状況下における破壊特性等を室内実験するための試験機である(Ohnaka et al., 1997)(図 1). 圧力容器には上下左右からピストンが挿入され、封圧に加えて上下方向と左右方向から独立した力を直方体状の試料に与える、いわゆる真三軸試験が可能である(図 2). しかし殆どの場合、円柱状の試料を用いて、左右のピストンは試料に当てずに静止させ、上下のピストンを試料に当てずに静止させ、上下のピストンを試料に当てた状態からある一定の変位速度で押し込む実験を行う. 試料は、封圧により全方位から圧迫されることに加えて上下方向にゆっくりと押し潰され、諸条件により塑性変形や脆性破壊を起こす.

上下ピストンの変位速度は、制御用 PC (Windows2000) の操作画面上では 10.000mm/min から 0.001mm/min まで設定で きる.しかし、アナログ変位目標値の分解能は 15bit 相当 (ダイナミックレンジ= $\pm 5V$ , 最小変 位量=約0.00061mm) しかないため、遅い変位 速度の場合には, 試料変形の時間変化がステッ プ状であることが無視できなくなる. つまり, 変位速度を遅くしてもステップの時間間隔が 広がるだけでスムースな変形とはならない. ま た,上下ピストンは 0 リングによる圧力容器と の摩擦によりスティック・スリップのような挙 動になり,荷重値に大きな変動が乗ってしまう ことになる. そこで、変位速度を遅くしたい場 合には, 20bit 分解能 (最小変位量=約 0.000038mm) のあるアナログ指令信号を出力 するサブ制御用 PC (Windows 2000) も用いて、 両制御装置からの合算信号で上下ピストンを 制御してきた.

2021 年夏、アメリカから研究員が期間限定で来所し、本試験機を用いて集中的に実験を行った.しかし、ある日の実験中に、上下ピストンをある程度以上押し込めなくなってしまった.原因を探った結果、サブ制御装置からのアナログ指令信号がレンジいっぱいまで出力できていないことが判明した.この PC に挿入されていた古い DAC ボード (詳細不明) が故障したと判断したが、ボードの予備品はなく、また、サブ制御ソフトウェアはメーカーのオリジナルであるため、同等品を用意する時間的余裕もなかった.そこで急遽、他の試験機で使用している DAC 機能のある制御装置(竹内、2020;竹内ほか、2019)の一部を一時的に代用することにした.

### 一時的サブ制御装置

ハードウェアおよびソフトウェアの構成は 維持し、制御プログラムのみを新規作成する方 針とした(図3).

· PC (Dell 製 OptiPlex7060)

Windows10

LabVIEW 2019

· Compact RIO(NI 製 9039)

AI モジュール

AO モジュール

PC 側には仮想的な操作画面を配置し、Compact RIO 側には指令信号の計算とアナログ電圧出力(つまり DAC)を行う FPGA プログラムを実装した. PC と Compact RIO とは、Ethernet ケーブルを介して、制御パラメータ

や計測値のやり取りを行う.

あくまでも一時的な装置であり、その時に行いたかった実験に対応していれば十分だったので、使用しない機能(例:正弦波的な変位制御)は省略した.逆に、あれば使いそうな機能(例:変位速度の随時変更)は追加し、変位速度を 0.0001mm/min まで下げられるようにした.また、安全性を重視し、ソフトウェア上の変位制限を設定できるようにした.

### 記憶違い

この一時的サブ制御装置が完成間近となった時、Compact RIO に装着した AO モジュールの分解能が実際には±10Vに対して16bit しかないにも拘らず、20bit であると記憶違いをしていたことが発覚した。これでは最小変位量に違いはなく、ほとんど意味がない。

他に代替器もないため、以降の実験はサブ制 御装置なしで行わざるを得なかった.外来研究 員には十分な実験設備を提供できずに申し訳 ない気持ちでいっぱいとなった.

### おわりに

20bit 分解能をもつサブ制御装置は、いずれ必要となる. しかし、現行の NI 製品に 20bit 以上の分解能をもつアナログ電圧出力デバイスがないため、他社製の 20bitDAC 機器を組み入れた装置の開発を試みる予定である.

### 汝献

Ohnaka, M., M. Akatsu, H. Mochizuki, A. Odedra, F. Tagashira and Y. Yamamoto, 1997, A constitutive law for the shear failure of rock under lithospheric conditions, Tectonophys., 277, 1-27.

竹内昭洋, 2020, 二軸圧縮試験機の LabVIEW 制御プログラムの FPGA 化(令和元年度地震研究所職員研修会).

竹内昭洋・内田正之・浦野幸子・中谷正生, 2019, 二軸圧縮試験機の制御信号生成ユニットの FPGA 化(平成 30 年度地震研究所職員研修 会).



図 1. 岩石破壊実験装置全体



図 2. 岩石破壊実験装置の圧力容器



図 3. 一時的サブ制御装置

# みんなで使える観測機材管理システムの構築

○増田 正孝・田中 伸一(東京大学地震研究所 技術部総合観測室) 中川 茂樹(東京大学地震研究所 地震火山情報センター) 酒井 慎一(東京大学地震研究所 観測開発基盤センター)

### はじめに

地震研究所では,衛星テレメータを利用した 地震観測装置をはじめとする様々な地震・火山 観測機材を保有し,一部の機材が共同利用機材 として全国の関連研究者に貸し出されている. これらの観測機材は、導入された経緯が異なる ため、それぞれの観測機材の整備・運用を担当 する教職員によって独自に管理されており、そ の機材に紐づく情報や更新方法は様々である. これらの観測機材の情報を一元的に管理でき る仕組みがあれば、より効率的な機材運用が可 能となる. また、これらの観測機材の多くは技 術職員が維持管理や貸し出し時の入出庫を担 当しているが, 担当職員が交代となることもあ り得る. その場合に, 観測機材の情報を一元的 に管理できる仕組みがあれば、スムーズに情報 の引継ぎが可能となり、引継ぎの負担を減らす ことができる.

そのため我々は、様々な研究分野の観測機材 に関する情報を統合し、観測での使用や貸出、 修理等の状況に対応できるシステムを構築し た.

本発表では、この観測機材管理システムの設 計思想、特徴、開発、検証について報告する.

### 観測機材管理システムの設計

地震研究所で管理している機材情報は、機材 諸元(シリアルナンバー等の管理情報と感度等 の性能情報)と使用状況(使用目的や使用場所、 期間等)および状態(正常、故障等)の3種に大別 される. 機材諸元は、分野や機材の型式ごとに大きく 異なっているため、まずどの分野の機材でも共 通で用いる項目を抽出し、それ以外の項目は機 材の型式ごとにユーザーが自由に項目名を設 定可能とした。例えば、地震計には感度の項目 を作る、ロガーにはファームウェアのバージョ ンの項目を作るということが可能である。

使用状況については、利用予約の登録や変更の操作が簡便にできることに留意した。観測機材を持ち出す場合、複数の機器を組み合わせて観測をすることが多いため、一度の操作で複数台の機材登録を可能とした。また、構造探査観測では大量の機材を使用するが、予約段階では機材のシリアル番号を特定できないことから、利用予定台数のみの登録を行えるようにした。機器の予約状況は、予約時期と利用可能台数を視覚的にわかりやすく表示するため、カレンダー表示で一覧できるようにした。

機材の状態については,一目でユーザーが把握できるように正常なら緑色,故障中ならば赤色等と色分けをして表示させた.

なお、この機材管理システムが取り扱う機材は、地震研究所で管理を行っている機材全般を想定し、機材種類は数千種類、機材の総数は数十万台の運用が可能なシステムとした。同時アクセスユーザー数は最大で10名程度を想定している。これらの条件を満たすシステムとして、WEBインターフェースとリレーショナルデータベースを用いたシステムを所内のサーバ上に構築することとした。また、本システムの開発や保守を容易にするため、世界中の多くのシ

ステムで採用されている LAMP 環境(Linux, Apache HTTP, MariaDB, PHP)を用いることとした.

### 観測機材管理システムの主な特徴

一覧画面での表示

ユーザーがログインし、分野および機材の型式を選択すると、全体検索画面と呼ばれる機材一覧を表示する画面(図 1)が現れ、機材の諸元や予約状況、使用履歴、正常か故障か等の状態を一目で把握することが可能である.

### • 検索機能

一覧画面に表示する機材情報は、フィルターと検索機能を組み合わせて絞りこむことができる. また、表示させたい機材諸元の項目をユーザー独自に設定することができる.

・分野ごとの機材登録や編集機能

ユーザーごとに担当する分野が設定されており,担当分野の機材については新規登録,情報編集,利用予約が可能となっている.これにより,同じ分野を担当している複数のユーザーによる同時管理が可能である.また機材ごとに管理項目を独自に追加することも可能である.ユーザーが担当しない分野の機材については閲覧のみが可能となっている.また,機材情報の登録,修正はWEB上での編集機能のほかに,エクセルファイルを修正してアップロードすることでも可能である.また,シリアル番号をバーコードから直接読み込む機能もある.

### ・機材個別画面を用いた編集機能

ある特定の機材についての詳細な情報を表示する画面を設けた.機材個別画面と呼ばれるこの画面上では,機材諸元の情報の編集の他に,期間と紐づく項目の追加,設定が可能である.例えば,機材が別の保有部署,別の機材管理者に移管された場合,期間ごとの保有部署や管理者を記載することが可能である.また,機材の性能を示した書類や修理の際の報告書,写真等の電子ファイルをアップロードし,機材に紐づ

けて管理することができる.

### ・機材の予約

一覧画面上で、機材の保管状況や予約状況を確認しながら、使用したい機材を複数選択し、予約することができる。また、機材の在庫・予約状況ページ(図 2)では、現時点での機材の総数、使用数、使用不可の機材数が表示され、全ユーザーの予約情報がカレンダー表示される。この画面を見ることで、いつからいつまで何台の機材を使用できるかを一目で確認することが可能である。また前述したように、シリアルナンバーを指定せずに、台数のみの仮予約が可能である。

### 使用実績の登録

機材を予約した時点での情報と実際に使用した情報が異なる場合がある. そのため,予約情報とは別に使用実績の情報を残せるようにした. 予約した情報通りに機材が使用された場合は,予約情報をそのまま使用実績の情報として登録させることも可能である.

### ・共同利用機材情報の一覧表示

地震研究所の共同利用で用いられる機材については、機材一覧、機材の貸し出し状況の在 庫数や予約状況や利用実績を、ユーザーアカウントがなくても閲覧可能となっている.

### 観測機材管理システムの開発と検証

まず、WEBシステム上での画面設計、画面 遷移図、リレーショナルデータベースを想定し た機材テーブル、ユーザー権限等の管理機能一 覧を作成し、業者に発注した。その後、所内サ ーバ上でシステムを構築し、我々開発者による 機能確認やバグ出し等のアルファテスト、所内 の数名の技術職員によるベータテストを行っ た。ベータテスト参加者からは開発段階では気 づけなかった追加機能の要望等の有用な意見 をいただいた。本執筆中の時点では、追加機能 の要望にも対応した改修を行い、再度ベータテ ストを行っている段階である。

### 課題と今後

現時点での改修及びベータテストが終了する 2022 年春には地震研究所内の関係する教職員 に公開し、運用を開始したいと考えている.

本システムは、複数分野にまたがる機材情報の一元管理を可能とするために、情報を集約しており、サービスの可用性確保が重要である。例えば、大規模な地震発生等の緊急時には、ユーザーが機材の状況をいち早く認識し、出庫に対応できる体制が求められている。そのためRAIDを組んでハードディスク障害に対応できるようにした。また、システムサーバの設置されている建物とは別の建物にバックアップサーバを置き、週および月ごとのバックアップを行っている。

今後の課題としてさらに高い可用性を確保するため、レプリカサーバの準備、もしくはバックアップデータをすぐに展開できるシステム構築済みの代替サーバの準備等を検討したい.

### 文献

田中伸一ほか,2021,観測機材管理システムの整備【R2年度所長裁量経費成果報告】, 地震研究所第1005回談話会

**謝辞**:本システムの構築は、地震研究所所長 裁量経費の支援を受けました。また、地震研 究所技術部の安藤美和子氏、佐伯綾香氏、西 本太郎氏、藤田親亮氏にはベータテストに参 加いただき、貴重なアドバイスをいただきま した。ここに感謝いたします。

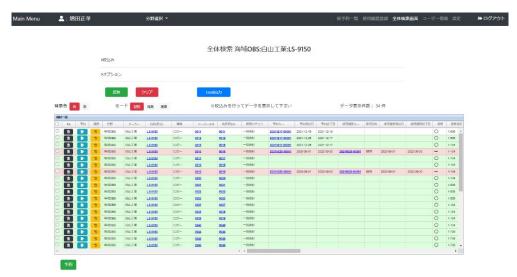


図 1. 機材の一覧画面. ある機材の諸元や予約状況, 使用実績を一覧表示している.



図 2. 機材の予約・在庫状況画面. ある機材の使用可能台数, 予約状況を一覧表示している.

# 地震計のノイズ軽減を目指した温度観測システムの構築

○**秋山峻寬,藤田親亮,佐伯綾香**(東京大学地震研究所 技術部総合観測室)

### はじめに

長野県中部にある朝日 2 観測点(E.ASI2)では横坑内で広帯域地震計と短周期地震計による地震観測を行っている。2021 年 10 月以前はこれらの地震計が横坑の奥(朝日観測点, E.ASI)に設置されていたが, 横坑の奥での作業が危険なため入口付近へ移設された. 移設に先立ち, 移設前後で観測に差異がないか確かめるため並行観測が行われた(秋山ほか, 2020). 移設先の横坑の入口付近は空気の出入りが多く温度変化が大きいと思われ, 広帯域地震計にとってノイズになりかねない. そこで, 横坑の奥と入口付近の温度変化や断熱材(スタイロフォーム)の効果を調べるため, 温度観測システムを構築, 設置した.

### 温度観測システムの構築

温度観測システムを図1に示す。主に温度の測定と記録、伝送をするおんどとり、おんどとりへのコマンド送信とデータ蓄積を行う Raspberry Pi 3 MODEL B (以下、ラズパイ)、スイッチングハブからなる。

温度観測システムの要件として温度の測定、記録、記録の伝送の3つの機能を持つ製品を採用する方針とした。今回はティアンドデイ製の「おんどとり」(型番: TR-71nw、以下おんどとり)を使用した。おんどとりは付属のセンサーで2ch分の温度測定、8000サンプル×2chの本体メモリへの記録、有線LAN及びUSBによる通信が可能なデー

タロガーである.

電源は朝日2観測点ですでに使用している商用電源を利用し、特におんどとりへは PoE 給電を利用した。PoE 給電により通信と電源供給が1本の線で済むためシステムの設置・保守を簡単にしている。

おんどとりとラズパイを朝日2観測点の 地震計のロガーと同様に LAN に接続し所 内からアクセスできるようにした. おんど とりには外部から送られるコマンドによっ て様々な動作をリモートで行える機能があ る. その一つに指定した IP アドレスヘデー タを送信できる機能がある. ラズパイはコ マンド送信とデータ蓄積の端末として使用 した。おんどとりのメーカーに問い合わせ ると受け取れる通信仕様書を参考にしてデ ータ吸い上げコードを作成しラズパイ上で 動作させた.cron によってある一定の時間 間隔でコードを実行することでおんどとり から温度データを取得した.また,温度測定 が止まったときのために、測定開始コマン ドを送るコードも作成し定期的に実行させ た. 通信仕様書には現在のおんどとりのス テータスを確認するコマンドなど、他にも 多くのコマンドが記されていた.

### 観測結果

2021 年 5 月 26 日に温度観測システムを 一部オフラインで設置した. 6 月 23 日に完 全オンライン化し 10 月 11 日に観測を終了 した. 観測結果の一部を図 2 に示す. 2021 年9月1日~30日の一ヶ月間における一日の最高気温と最低気温の差(気温差)は横坑入口付近のスタイロフォーム内,横坑入口付近のスタイロフォーム外,横坑奥でそれぞれ,0.0~0.6°C,0.1~2.1°C,0.2~1.1°Cだった。気温差の平均値はそれぞれ,0.10°C,0.39°C,0.13°Cだった。スタイロフォームの有無で比べると有りの方が一日の温度変化は小さい。また,場所で比べると横坑入口付近より奥の方が一日の温度変化は小さい。また,環境や断熱材の有無が与える温度変化の大きさの違いが示された。

### まとめ

地震観測にとって良いとされる温度変化の小さな環境で実際にどれほど温度変化が小さいか、温度観測システムを構築し横坑内へ設置・観測を行い確かめた。観測結果として、横坑奥が入口付近に比べて温度変化が小さく、断熱材を使用するとより温度変化を小さく抑えられることがわかった。温度変化が地震計のノイズに及ぼす影響の検証については今後の課題としたい。

### 謝辞

東京大学地震研究所観測開発基盤センター,東京大学大学院情報学環・学際情報学府の酒井慎一教授には,本稿を改善するうえで大変有益なご助言をいただきました. 記して深く感謝申し上げます.

### ケス

秋山峻寛・佐伯綾香・藤田親亮・橋本匡, 2020, 横坑内における広帯域地震計の移設 に向けた比較観測(令和2年度地震研究所 職員研修会).

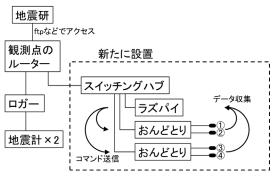


図1:温度観測システム概要図.①~④は温度センサー.それぞれ,①:横坑入口付近のスタイロフォーム内,②:横坑入口付近のスタイロフォーム外,③:横坑奥の温度を測定.④は未使用.



図2:2021年9月1日-30日の1ヶ月間の温度グラフ.赤線、緑線、青線はそれぞれ横坑入口付近のスタイロフォーム内、横坑入口付近のスタイロフォーム外、横坑奥で観測した温度を示す.1分サンプリングで測定したが1時間サンプリングに間引いて描画している.

# オンライン時代のイベントについて

福井 萌(東京大学地震研究所 広報アウトリーチ室)

### はじめに

コロナ禍に入ってからのこの2年近く,地 震研究所でのほぼ全てのイベントがオンラインでの開催に切り替わった.遠方の方々も手軽に参加してもらいやすくなったという利点がある反面,内容的にはオンサイト(対面)での開催以上に話が一方的になりやすい等,また,広報的には集客方法や参加者層の変化に対応する必要があることなど,オンラインならではの注意すべき点が浮き彫りとなった.

発表では、実際にこの2年間地震研究所で 開催されてきたオンラインイベントについて 報告し、加えて国内外のサイエンスコミュニ ケーション関連フォーラムやファシリテーション講習等で個人的に得てきた学びを紹介す る. これらを通じて、皆さんの今後のオンラインでの充実したコミュニケーションを少しでも促進できるようなヒントを提供することが出来ればと思う。また、今後オンサイト・オンラインのハイブリッドが主流となっていくことであろうことを見据えての準備状況についても報告する.

### 本題

広報アウトリーチ室では、サイエンスカフェ、サイエンスアゴラ、一般公開・公開講義、懇談の場、ラボツアー、各種国際学会のブース等をオンラインで開催してきた。その中でも主に業界外の不特定多数の方々を対象としたイベントについて例に挙げ、オンラインならではの課題を示す。

例えば例年夏に、東大のオープンキャンパスと同日に開催されている一般公開がある. これは2020年からオンラインでの開催がされ ている. 通常の場合, この日は本郷キャンパスでオープンキャンパスが開催されていることもあって, それに来る高校生たちが地震研にも立ち寄ってくれることが多かったが, オンラインでの開催となってからは, 地震研の地の利の良さを活かすことが難しくなっている. オンライン上ではイベントが溢れており, 参加のしやすさは全て一律である. その中で埋もれずに選んで貰うには, 案内を郵送するなどの告知方法の工夫もさることながら, テーマを含む, 内容のクオリティの高さが, これまで以上に求められる時代になってきている.

また、参加者層も変化してきている。例えば国立研究開発法人科学技術振興機構によるイベント「サイエンスアゴラ」は、「あらゆる人に開かれた科学と社会をつなぐ広場」

(https://www.jst.go.jp/sis/scienceagora/about.html より引用)をコンセプトとして開催されているため、例年は年齢・所属・国籍を問わずあらゆる人が集うイベントであった.しかしながらオンライン開催に切り替わった2020年以降は、参加者がそれまでは家族づれだったり学生だったりが多かったのに比して、研究者や業者等の業界関係者の参加が増えている.つまり、ターゲットとする層が集うイベントに企画出展しても、必ずしも本当に来て欲しい層の人たちに来てもらえているとは限らない状況が出てきている.

オンライン化の加速に伴い合理化が進んでいる良い面もありつつ、それ故に本当に実のあるイベントにしか参加しない傾向も加速している。充実感を得られる中身の濃い体験を提供できるイベントにしていかないと、取り残されてしまうと感じている。