

GNSS火山変動リモート観測装置（REGMOS） の改良と効果

松村 泰敬¹・豊福 隆史¹・平岡 喜文²・横川 正憲³・根本 盛行⁴

¹ 国土地理院	測地部	機動観測課	(〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)
² 国土地理院	測地観測センター	衛星測地課	(〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)
³ 国土地理院	地理地殻活動研究センター	研究管理課	(〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)
⁴ 国土地理院	測地部	物理測地課	(〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

国土地理院では、火山性の地殻変動を監視するため、衛星測位システム（以下、「GNSS」という）による測量技術を用いたGNSS火山変動リモート観測装置（Remote GNSS Monitoring System, 以下「REGMOS」という）を開発し、火山活動の活発な地域に設置している。REGMOSは、電力及び通信インフラの整備条件の制約を受けず、地殻変動監視に最適な場所へ迅速に設置することを想定し、観測や通信に必要な電力は備え付けられた太陽電池パネルで発電し、データ通信には衛星携帯電話を用いている。本稿では、REGMOSのこれまで行なってきた改良と、その効果について報告する。

キーワード REGMOS, 発電機能, 通信機能, 総合制御装置, GNSS

1. はじめに

「火山列島」といわれる我が国では、火山噴火やそれに誘発される地震から国民の生命や財産を守るため、防災関係機関が責任を持って火山の監視網を整備しなければならない。災害対策の指定行政機関である国土地理院においても、全国1240箇所に配置した「電子基準点」を利用し、地殻変動を監視している。「電子基準点」は、隣同士の間隔が約20kmで火山の山麓に設置されていることから、深部の「マグマ溜まり」の活動の監視に適している。

しかし、山頂付近の浅部の「マグマ溜まり」の活動を監視するには、山麓だけでなく火口周辺などへの高密度な配置が必要となるが、電力と通信の確保が難しく、設置に時間がかかる。このような場合で、浅部の「マグマ溜まり」の監視が緊急で必要となった時、作業員が直接観測しに行くことになる。1991年の雲仙普賢岳噴火の際も、浅部の「マグマ溜まり」の活動を監視するため、職員が危険な溶岩ドームの近くで、GNSS観測を実施した¹⁾。

火山活動が活発化している場所で作業員が観測を続ける場合、常に危険にさらされる事になる。それを防ぐ対策として、商用電源や公衆回線などのインフラが利用できない場所でも自動でGNSS観測を行える装置を構想し1997年、REGMOS（写真-1）を開発した¹⁾。

REGMOS は、太陽電池パネルと衛星携帯電話を備え付

けているので、インフラ整備の制約を受けず自動でGNSS連続観測及び監視局（国土地理院）とのデータ通信を行なうことが出来る。また筐体は、搬入が困難な地域に、ヘリコプターで運搬・設置（写真-2）できる強度と重量で作られている¹⁾。そのため、詳細な地殻変動観測に最適な場所へ迅速にREGMOSを運搬・設置することが可能であり、運搬から数時間でGNSS観測を実施することが可能である（図-1）。



写真-1 REGMOS



写真-2 ヘリコプター（「あおぞら」）での運搬・設置

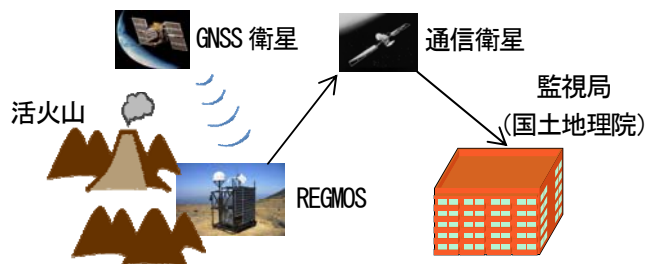


図-1 REGMOSのデータ通信の概要

しかし、一般に山体周辺は強風や豪雪などの過酷な環境であり、その状況下で安定したリモート監視を実現するのは非常に難しい。開発当初の REGMOS においても、太陽電池パネルへの着雪・着氷による停電や観測機器の停止、通信遮断など様々な問題が生じた。しかし、現在までに多くの職員が REGMOS の改良に携わり、問題を 1 つ 1 つ克服していった。その結果、過酷な環境下での安定した GNSS 観測の実現、さらに GNSS の他、複数センサーによる観測の多様化を可能とした。本稿では、安定したリモート観測を実現させるまでの REGMOS の改良、さらに観測の多様化を可能とする総合制御装置について述べていく。

2. REGMOSの改良

(1) 筐体形状の改良

REGMOS は、高山地域など風雪の強い場所への設置を想定している。開発当初、REGMOS は四角形型（写真-3）の筐体であった。しかし、それでは風圧により筐体移動することが分かったため、風圧の影響を受けにくい八角形型の形状（写真-4）に筐体を改良した²⁾。



写真-3 四角形型



写真-4 八角形型

(2) 発電機能の強化

太陽電池パネルは、発電効率を上げるため、南の方向等太陽に正対する角度で取り付けるのが一般的である。一方、REGMOS の太陽電池パネルは、砂塵や火山灰や冬季の着雪を防止するため、筐体にはほぼ垂直に取り付けている¹⁾。開発当初、太陽電池パネルは筐体の南側だけであったが、垂直に取付けた場合、発電効率が低下するので、太陽電池パネルの取付け枚数を増やすなどの対策を施し、必要な電力を確保・維持していた。それでも、冬季においては太陽電池パネルへの着雪・着氷（写真-5）により発電が停止してしまうことがあった。



写真-5 着雪・着氷

そこで、発電効率をさらに向上させるべく、筐体形状の改良に併せて全ての面に太陽電池パネルを取り付け、太陽がどの方向にあっても効率よく発電できるようにした。さらに冬季において周辺が雪原となった場合、全方向より雪面からの太陽反射光を拾えるようにした³⁾。

(3) 発電機能の安定化

REGMOS が発電した電力は、収納されたバッテリーに蓄えられてから、各種機器へ供給される。この時、太陽電池パネルからバッテリーへ直接電力を送ると、過充電によりバッテリーが著しく劣化し、最悪の場合、破裂や火災を起こす危険性がある。それを防ぐため、REGMOS は太陽電池パネルとバッテリーの間に「充放電コントローラー」（写真-6）を設置し、太陽電池パネルからの電力を制御しながらバッテリーへ送り、過充電の防止や充電効率の向上を行っている。また、充電の他、バッテリーからの放電の制御も行い、バッテリーの電力をコントロールしている。開発当初、REGMOS は1つの「充放電コントローラー」で複数の太陽電池パネルの電力の制御を行っていた。

しかし、この場合では各パネルで発電力が異なった時に、最も低い発電力のパネルに合わせて電力を制御し、バッテリーへの充電を行ってしまう²⁾。冬季においては、太陽電池パネルの着雪・着氷などで各パネルの発電力に差異が生じやすいことから、必要な分の電力が供給できず停電する危険性がより高くなる。

これでは、筐体を改良し太陽電池パネルの取り付け枚数を増やしても、効果が弱まってしまう。そのため、効率の良い電力供給のため「充放電コントローラー」を改良し（写真-7）、パネル1枚ごとに電力を制御して、発電量の差異が生じてても、発電された全ての電力を利用できるようにした。



写真-6 充放電コントローラー（改良前）



写真-7 充放電コントローラー（改良後）

(4) 通信機能の強化

REGMOS は、監視局（国土地理院）とのデータ通信に衛星携帯電話を使用している。衛星携帯電話は地上携帯電話に比べ、機器購入費用や通信費用が高額というデメリットがあるが、衛星方向の視界が確保されていれば通信が可能なので、災害時における回線の輻輳や遮断が少ないことが期待される¹⁾。この衛星携帯電話を用いて REGMOS は、インフラの利用できない山中や被災地での

リモート GNSS 観測を実施してきた。しかし、開発当初使用していた衛星携帯電話（写真-8）は、通信速度が 4.8kbps しかなく（表-1），データの転送に時間がかかるため、転送中に通信が遮断してしまうなどの問題があった³⁾。この問題を解決させるべく、通信速度を高速化し、通信の安定を図ろうとしたが-1997 年の開発当時はそれ以上の通信速度を持つ、衛星携帯電話がなかった。

しかし 2009 年 2 月、Inmarsat 社の高速データ通信サービス Broadband Global Area Network（以降、「BGAN サービス」という）が日本でも利用が可能となったため、このサービスが使用できる衛星携帯電話（写真-9）を REGMOS に導入することにした。これにより、通信速度を 240.0kbps まで向上させることができた（表-1）。



写真-8 高速化前の衛星携帯電話



写真-9 高速化後の衛星携帯電話

表-1 衛星携帯電話

	機種	データ通信方法	通信速度
前	NTドコモ社製 ワイドスター-Duo	回線交換方式	4.8kbps
後	Addvalue社製 SABRE1	IP通信	240.0kbps

3. 総合制御装置による観測項目の多様化

通信の高速化が可能になった時、REGMOS をプラットフォームとし、GNSS のほか監視カメラや全磁力計など他のセンサーも使用して、多様な観測ができる可能性が出てきた。この構想は、開発当初からあったが、1997 年の開発当時の衛星携帯電話の通信速度では技術的に困難であった。しかし、発電力の向上や BGAN サービスによる通信速度の飛躍的な向上などで技術的なハードルが取り除かれた。

REGMOS の観測の多様化を実現させるべく、BGAN サービスの導入に併せ、多様な観測を可能とする制御装置の導入の検討に入った。

(1) 開発当初の通信制御装置

開発当初の REGMOS には、GNSS データの蓄積、衛星携帯電話による通信の制御などを行なう通信制御装置（近計システム社製 TCU-1000、以下「TCU」（写真-10）という）を採用していた³⁾。

TCU は、指定された時間に限り衛星携帯電話の電源を入れて「待ち受け」の状態とし、その間に監視局（国土地理院）から REGMOS との通信を行い、TCU に蓄積された GNSS データを取得する（図-2）²⁾。通信時以外は電力



写真-10 TCU

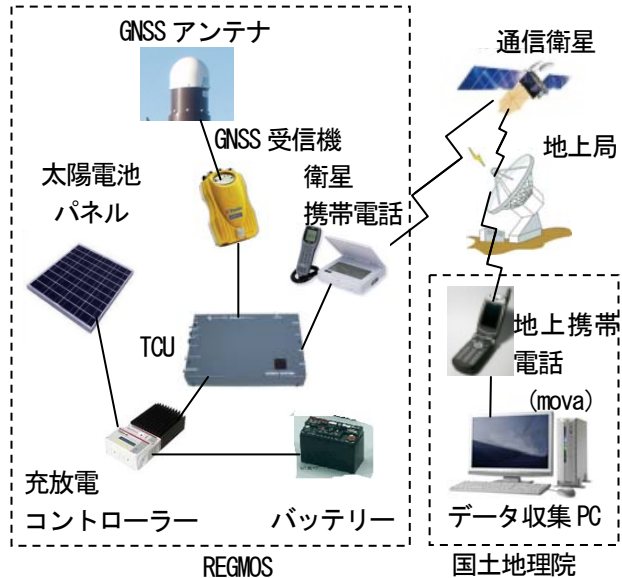


図-2 TCU を用いた旧システムの概要

の消費を避けるため衛星携帯電話の電源を遮断する。TCU は、これまで数度の改良を施し、通信手段における地上携帯電話及び有線アナログ電話への対応、衛星携帯電話と地上携帯電話の 2 つの通信機器の自動切換えなどを可能としてきた。

しかし、TCU は開発当初に使用した衛星携帯電話の通信速度に対応させて製作しており、Inmarsat 社の BGAN サービスの通信速度には対処できない。また、TCU は GNSS 観測のみを制御するように設計されており、複数センサーによる多様な観測を処理できない。

(2) 総合制御装置の導入

REGMOS の多様な観測の実現に向け、通信速度の高速化への対応、複数センサーの制御が可能な装置の導入を検討し、総合制御装置（テクノバンガード社製 Remote Control Logger 以下、「RCL」（写真-11）という）を採用した。

RCL は、BGAN サービスなどの通信の高速化に対応できるほか、装置本体に CPU ボード (OS : Linux) を持っており、観測データを圧縮させることが可能で、送信にかかる時間及びコストを軽減できる³⁾。複数センサーの制御においても、万が一、発電不足の時は、監視局（国土地理院）からの遠隔操作により、優先度を勘案して機器を順次停止させ、電力回復時には順次復旧させることができる（図-3）³⁾。

さらに、RCL は自動復帰機能を有しており、各機器に障害が発生した時は、自動的にその機器を初期化させ復旧させることができ、それでも問題が解決しない場合には、自己に問題が発生したと判断し、自らを初期化し、問題を自動的に解決することができる³⁾。このRCLの開発により、複数のセンサーによる観測の多様化が可能となった。



写真-11 RCL

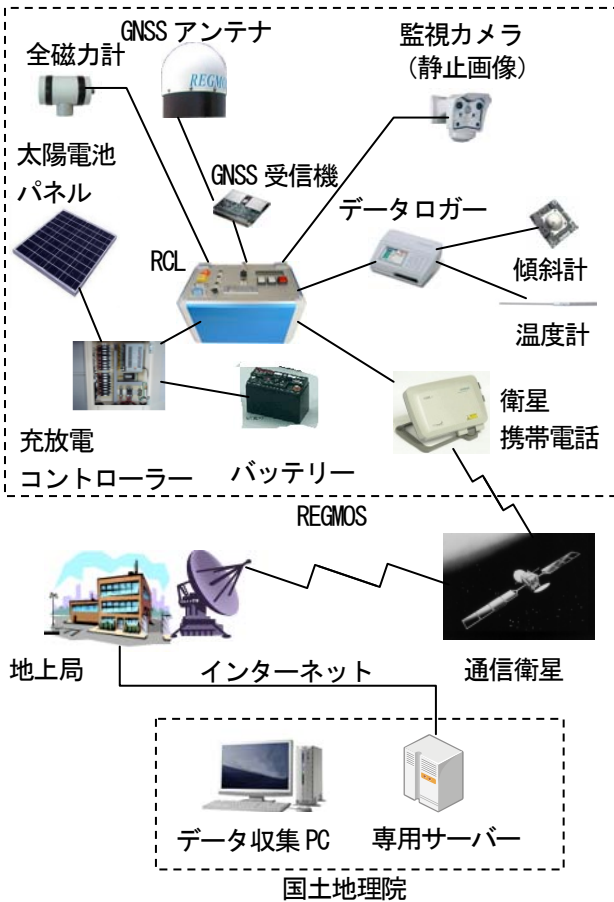


図-3 RCLを用いた新システムの概要

4. 改良の効果

REGMOS の改良により、過酷な環境下における安定したリモート観測が可能となった。この成果について、北海道の樽前山 (図-4) に設置した REGMOS で検証する。なお、樽前山には 2001 年から REGMOS (観測点名「M 樽前山」 (写真-12)) を設置し、2010 年に改良した REGMOS (観測点名「M 樽前山 A」 (写真-13)) へ更新している。

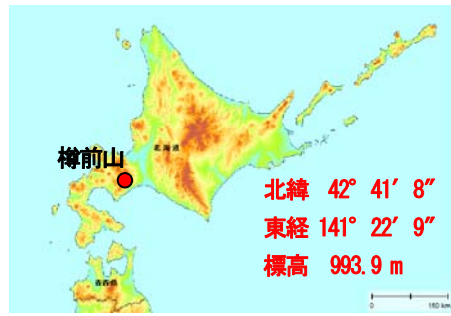


図-4 樽前山の位置 (電子国土)



写真-12 M 樽前山

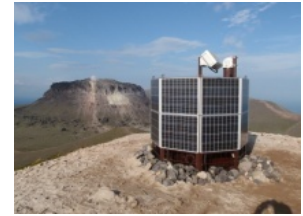


写真-13 M 樽前山 A

(1) 発電機能

REGMOS は、これまで冬季に太陽電池パネルへの着雪の影響と思われる停電 (図-5) で GNSS データが約 2 ヶ月間欠測することがあった。しかし、太陽電池パネルの取付け枚数の増加及び充放電コントローラーの改良により発電及び発電効率が大幅に向上・安定化した結果、太陽電池パネルに着雪・着氷 (写真-14) があった場合でも一定にバッテリー電圧を保っている (図-6)。



写真-14 着雪 (M 樽前山 A)

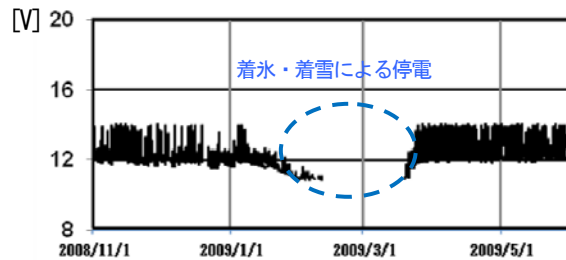


図-5 冬季の発電 (M 樽前山)



図-6 冬季の発電 (M 樽前山 A)

(2) 通信機能

Inmarsat 社の BGAN サービスを導入したことにより、通信速度 240.0kbps の IP 通信が可能になった。また、GNSS データや他のセンサーの観測データは、RCL で圧縮（1時間毎に約 25Kbyte 程度）して送信されるため、転送処理が数秒程度で終了する。そのため、転送中に通信が遮断してしまうなどの問題が大幅に改善された。

5. 観測項目の多様化

RCLの導入により、REGMOSをプラットフォームとした観測の多様化が可能となり、複数のアプローチによる火山活動監視が実施できるようになった。これらについて、監視カメラを樽前山、全磁力計を富士山5合目御庭付近に設置したREGMOSで検証する。なお富士山5合目御庭付近には、2001年からREGMOSを設置し、2011年に改良したREGMOS（観測点名「M富士御庭A」（写真-15））に更新している。



写真-15 M富士御庭A

(1) 監視カメラによる静止画像

監視カメラを取付け、火口の状態を昼夜（写真-16、写真-17）とも把握できるようになり、これまでの地殻変動のほか、視覚的な火山活動監視が可能となった。これにより、樽前山では山頂にある溶岩の「B 噴気孔群」と「A 火口」から出る噴煙を監視できるようになった。



写真-16 画像データ（昼）

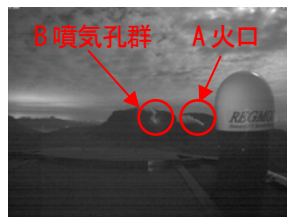


写真-17 画像データ（夜）

(2) 全磁力計

M富士御庭Aには、全磁力計を取付け（写真-18、図-7）、全磁力連続観測を実施している。

火山石は磁鉄鉱を多く含んでいるため磁化しやすい特性があり、山体内部のマグマや熱水による温度変化及び、地殻変動による応力変化により磁力変化が生じる。

この特性を利用し、全磁力連続観測により全磁力の時

間変化を観測し、山体内部の状況を把握することができる。

M富士御庭Aでは、RCLにより1分間に1回、全磁力観測を行なっている。その観測データは、富士山山麓にある他の観測点の全磁力観測データと共に解析することにより、富士山内部の監視に用いられている。



写真-18 全磁力計

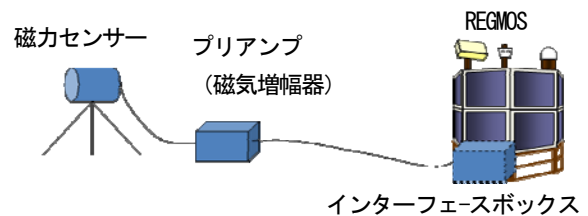


図-7 取付け図

6. REGMOSをプラットフォームとした監視

現在、REGMOSを地殻変動監視に使用しているが、その優れた自律性や耐久性を利用すれば、国内外における他の防災分野への活用が期待される。

例えば、土砂災害危険地域における土石流の画像監視や気象観測、大雨による土砂災害時の堰止湖の画像監視や水位観測、雪山での雪崩監視や積雪深観測など、危険地域における電力及び通信インフラに頼らないリモート監視が可能になると期待される。また、地震や火山などの災害危険地域での運用だけでなく、南極地域におけるリモート観測への活用も検討している。

REGMOSに使用される技術は、汎用性が高いことから、他にも様々な分野へ応用ができると考えられる。

7. まとめ

REGMOSの改良により、今まで問題となっていた発電機能と通信機能が大幅に向上・安定化し、冬山や高山地域のような厳しい環境下においても安定したリモート監視が可能になった。さらに、開発当初はGNSSのみの観測であったが、この発電機能及び通信機能の改良とRCLの導入により、REGMOSをプラットフォームとした複数センサーによる多様な観測が可能となった。この複数のセンサーを用いて今後も、火山活動の総合観測を実施していきたい。

参考文献

- 1) 根本盛行(1999) : 測量でとらえる火山活動, 国土地理院技術研究発表会要旨, A1-211, 67-77.
- 2) 横川正憲, 平岡喜文, 松村泰敬, 根本盛行(2011) : GPS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS) の改良とその効果, 国土地理院時報-121-135-142.
- 3) 平岡喜文, 横川正憲, 根本盛行, 村山盛行, 武山峰典(2011) : 次世代衛星携帯電話電話を利用した GPS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS-Hybrid) の開発, 測地学会誌-173-180.