

無人ヘリを活用した火山泥流感知システムの開発

山梨県 富士山科学研究所 吉 本 充 宏
北海道大学大学院 理学研究院 橋 本 武 志
シモレックス株式会社 渡 辺 康 二

無人ヘリを活用した火山泥流感知システムの開発

Development of Volcanic Mud flow Detection System using an Unmanned Helicopter

吉本 充宏¹・橋本 武志²・渡辺 康二³

Mitsuhiro YOSHIMOTO, Takeshi HASHIMOTO, and Koji WATANABE

¹山梨県 富士山科学研究所 主任研究員

²北海道大学大学院理学研究院 准教授

³シモレックス株式会社

要 旨

火山泥流は火山現象の中で最も頻度の高い現象の一つであり、災害を発生させることが多い。従来、火山泥流感知システムは数多く開発研究されてきたがそのほとんどが固定型のシステムである。本研究では、移動可能なシステムで、かつ、無人ヘリコプターに搭載可能な省電力小型火山泥流システムの開発をおこなった。平成25年度は、2.4GHzの周波数帯を使ったデータ転送システムの構築を行い、親機1台と子機2台の試作を行った。さらに、野外における無線通信テストおよびヘリコプターへの搭載テストを行った。その結果、無線通信では野外で100m以内の範囲での通信テストに成功した。センサーのバッテリーを除く重量は、予定重量10kgより十分に軽い3kgとなり、ヘリコプターへの搭載テストも成功した。一方、十分に安全な地点から観測するためには通信距離をより長くする必要があることが明らかとなった。また、加速度センサーによる振動感知テストでは、加速度センサーの性能テストを十分に行う必要があることが明らかとなった。これらをふまえて次年度開発を継続する予定である。

《キーワード：火山泥流；振動センサー；無人ヘリコプター》

1. はじめに

火山泥流は火山現象の中で最も発生頻度の高い現象の一つであり、災害を発生させることが多い。火山泥流災害の軽減には、発生を早期に感知する必要がある、発生源に近い河川上流部に泥流感知センサーを設置する必要がある。従来、火山泥流感知システムは数多く開発され、設置されてきたがそのほとんどが固定型のシステムである。固定型の泥流感知システムの代表例としてワイヤーセンサが上げられる。ワイヤーセンサは、火山泥流が発生した場合、第1波の火山泥流の検知には有効であるが、後続の第2波、第3波の火山泥流に対応するためには、再度ワイヤーの設置が必要である。しかし、噴火中には火口に近い地域では噴出物が到達する可能性が高いため、地上からの人力による設置は極めて危険である。一方、移動型の火山泥流感知システムはこれまであまり開発されてこなかった。本研究では、後続の第2波、第3波の火山泥流に対応可能な泥流感知システムの開発を目的として北海道開発局所有の無人ヘリコプターに搭載可能な省電力小型火山泥流システムの開発を行い、実用化をめざしている。

本研究は北海道開発局と北海道大学、東京大学地震研究所により進められている、無人ヘリコプターを活用した総合的な火山観測の試験調査に関連した研究に当たる¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。この試験調査では、北海道開発局所有の無人ヘリコプターに既存の計測装置や試料採取装置を搭載して、緊急時の火山観測の可能性を拡張することを主な目的としている。一方、本研究は、無人ヘリコプターによる観測項目の多様化を図るために、これまでにない火山泥流感知システムの開発およびその実証実験実施を目的としている。本研究により火山泥流感知システムが開発されれば、噴火発生時、これまで既存の感知システムの設置されていない流域や既存の監視システムが火山泥流の第1波によって破壊された流域に、迅速かつ安全にセンサーが設置可能となる。また、既存の監視システムが火山泥流の第1波によって破壊され、その修復に行く場合の安全確保のためにも役立つ。既存の監視システムと本研究で開発予定のシステムを組み合わせれば、より災害の軽減を図ることが可能になる。さらに、本システムは振動を伴う土石流、地滑り、雪崩などの発生の検知にも応用可能であると考えている。

本報告では、平成25年度に実施した泥流感知センサーの開発について報告する。

2. 火山泥流システムの構想

本システムは、火山泥流に伴って発生する振動を感知するセンサーと、特定小型省電力無線モジュールによる双方向通信が可能な小型の通信機から構成される。火山灰堆積地域に数百m間隔で親機1台と10台程度の振動感知センサーを搭載した子機を配置し、子機が振動を検知した際、親機に信号を送る。親機はさらに監視センターに転送する(図1)。上流側から下流側のセンサーの順に振動を感知した場合、火山泥流が発生したと判断し、アラートを出す(振動時差感知システム)。

火山泥流が発生した場合、時刻T1の時点では子機A、Bの順に振動が検知される(図1)。時刻T2の時点ではさらに子機C、D、Eの順次振動が検知され、時刻T3の時点ではさらに子機F、Gの順次振動が検知される。子機H、I、Jは時刻T2の時点で、振動しないか、振動の強度が順に弱まることが期待される。一方、火山泥流以外に加速度計が反応するケースとしては、地震による振動、動物による振動、暴風による振動などが考えられる。地震の場合、親機および子機A~Jのすべての加速度計が振動を感知することが期待される。また動物による振動や暴風による振動の場合、いずれか一カ所ないし数カ所が振動するのみで、AからGの順に振動しない。このように他の現象と火山泥流と識別可能であると考えられる。

センサーの仕様は、親機、子機ともに乾電池で駆動可能な低消費電力型とし、重量は無人ヘリコプターのペイロードが10kgであることから、積載可能な10kg以内とする。また、多点展開出来るように子機の価格を20万円程度の安価なものにする。そのため、センサーに使用する部品は極力市販されている物品を使用するものとする。

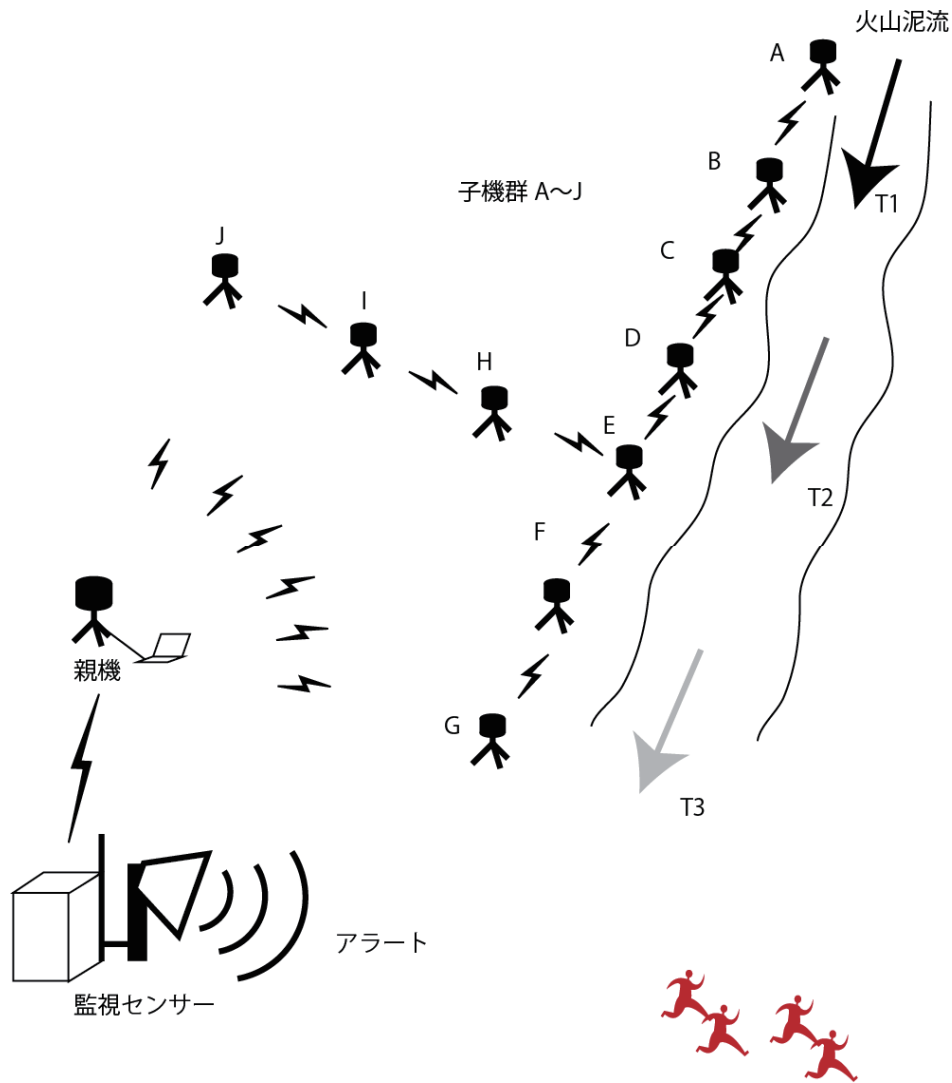


図1 火山泥流検知システムの構想の概念図。A~Jは子機を示す。
T1, T2, T3は火山泥流の到達時刻を示す。

3. 火山泥流システム試作

今年度は、まず無線伝送システムの開発として、無線モジュールの構築、データの表示ソフト作成を行い、基盤ベースの親機1台、子機2台の試作を行い、無人ヘリコプターに搭載可能な子機の試作を行った。

(1) センサーの試作機

システムの構想のもとに基板ベースで、親機、子機として無線モジュールを構築した。親機には液晶モニターを装着し、受信データを波形表示可能とした。子機には加速度計を装着することにより振動を検知し、親機に向けデジタルデータとして送信することを可能とした。ファームウェアの開発ではデータサンプリング、伝送処理、表示処理を行った。図2に基板ベースの親機、子機の試作機を示す。また、表1-1は基盤の構成、表1-2は加速度計仕様を示す。

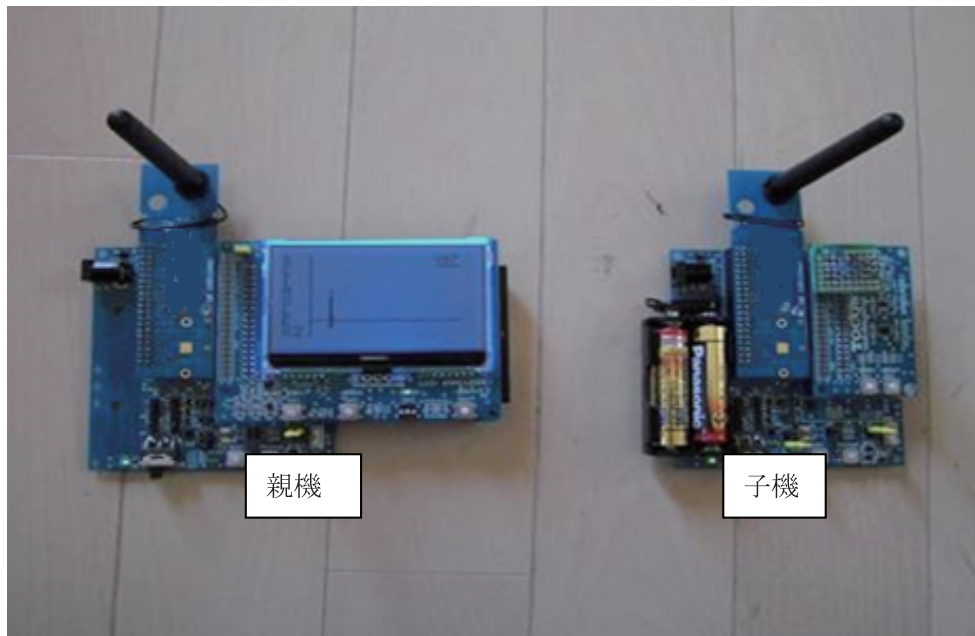


図2 基板ベースの試作品。左が親機、右が子機。

表1-1 基盤の構成

親機	子機
無線モジュール	無線モジュール
マイコン	マイコン
RAM	RAM
各種I/F	各種I/F
ADコンバーター x 4 12bit	ADコンバーター x 4 12bit
—	加速度計
各種I/O	各種I/O
電源	電源

表1-2 加速度計の仕様

搭載センサ	Kionix KXR94-2050
測定レンジ	$\pm 2 \text{ G}$
感度	660 mV/g typ
測定出力	3軸アナログ出力 (XYZ)
ゼロG出力電圧	1.65 V typ
非直線性誤差	$0.1\% \text{ FS}$
出力帯域幅	800 Hz (-3dB)
定格電源電圧	3.3 V
動作電圧範囲	$2.5 \text{ V min} \sim 5.25 \text{ V max}$
センサー外形	$5 \times 5 \times 1.2 \text{ mm}$

(2) 無線モジュールの仕様

無線伝送において親機、子機間の双方向通信可能であると共に電源は乾電池駆動とする無線モジュールを仕様した。また、本モジュールは消費電力も低消費であり、軽量化を計るのに最適である。表2に無線モジュールの概要を、表3に無線モジュール規格を示す。

表2 無線モジュールの概要

項目	内容
低消費電力	送信時:28mA, 受信時:23.5mA, ディープスリープ時:1.3μA
通信距離	見通しで長距離通信可能
無線規格	IEEE802.15.4に準拠
通信速度	667Kbps
温度特性	-40℃~+85℃
電源電圧	電源電圧：動作電圧2.0~3.6V
電源	乾電池駆動可能

表3 無線モジュール規格

無線規格	IEEE802.15.4準拠
周波数帯	2.4GHz
チャンネル数	16チャンネル
変調方式	O-PQSK, DSSS
通信速度	250kbps(IEEE802.15.4)/500kbps/667kbps
送信出力	+9.08dBm (25℃, 3V, Typ, SWGコネクタ)
受信感度	-100dBm (25℃, 3V, Typ, SWGコネクタ)
暗号化	AES-128ビット、AES-256ビット (ソフトウェア)
電波認証	ARIB-STD-T66 工事設計認証 (技適)

(3) 無人ヘリコプター搭載可能な子機の試作機

無人ヘリコプターのペイロードが10kgである。試作機は、無人ヘリコプターから降下させたときに安定して設置できるように3本の脚をつけ、上部にはヘリコプターにつり下げるためにシートをつけた。センサーはその通信部に取り付けた。予定重量10kgより十分に軽い3kgとなった。



図3 無人ヘリコプター搭載可能な子機の試作機

4. 動作試験

(1) 無線伝送試験

室内における伝送試験を親機1台、子機2台における試験を行った。図4にイメージ図を示す。

本試験では親機に子機2台分の信号を同時に受け取り、そのデータを表示可能とすることを目的とした。図5と図6に表示ソフトを開発し室内における試験の表示画面を示した。今回の試験の画面表示は、親機接続のパソコンにおける子機2台分の信号(3ch x 2台) 6chの波形表示と波形表示用のテキストデータの表示である。なおA/Dは12bitで、サンプリングは100Hz、100msec毎に1パケット(10データ)とした。

図5は子機2台分の波形表示の例である。左側波形表示は6chの波形を表示で、右側のテキスト画面の上2画面は子機の動作状態を表示している。右下1画面は子機から送信されたパケットを親機側でモニター表示できるようにしている。波形表示部の下部(白の領域)はパケットロス発生時にログ表示できるようにしている。図6の左側のテキスト画面は前のシートの波形表示用のデータをテキストで表示している。現時点では波形とテキストの同時表示はできない。画面右側の2画面は前のシートと同じエンドデバイス2台の動作状態をモニター表示している。

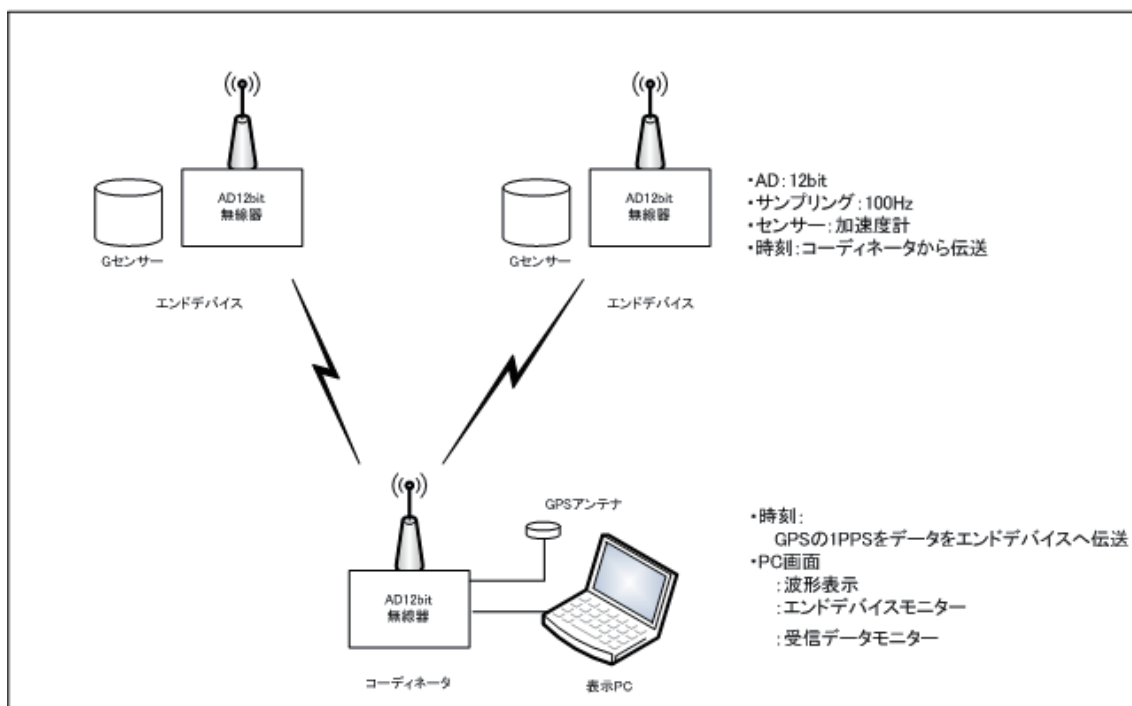


図4 システムの試験イメージ

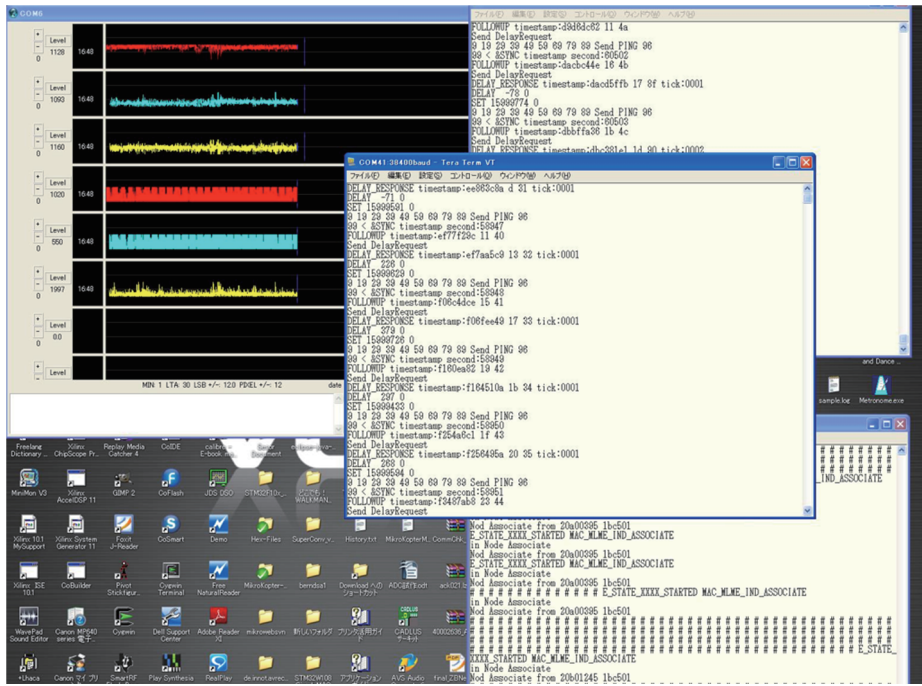


図5 親機接続のパソコンにおける子機2台分の波形表示画面1。

左側波形表示は子機1台につき3chで2台分の合計の6chの波形を表示している。右側のテキスト画面の上2画面は子機の動作状態を表示している。右下1画面は子機から送信されたパケットを親機側でモニター表示できるようにしている。波形表示部の下部（白の領域）はパケットロス発生時のログ表示ができるようにしている。

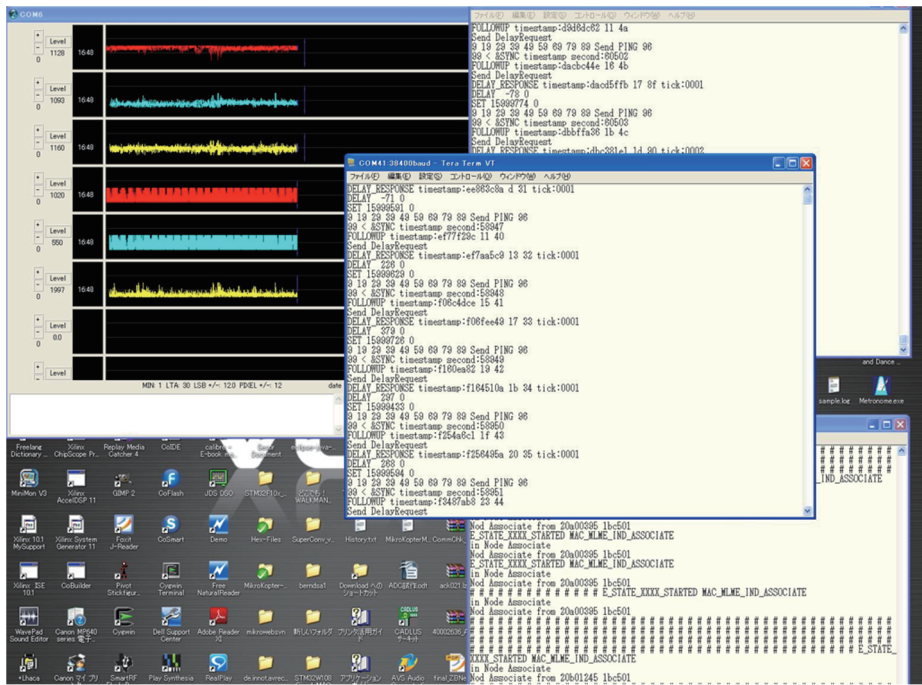


図6 親機接続のパソコンにおける子機2台分の波形表示画面 2。

左側のテキスト画面は前のシートの波形表示用のデータをテキストで表示している。波形とテキストの同時表示はできない。画面右側の2画面は前のシートと同じエンドデバイス2台の動作状態をモニタ

ー表示している。

(2) 通信距離試験

無線用のアンテナは用途により各種販売されている。本システムに有用なアンテナを選定するために2種類のアンテナの通信距離の試験を実施した。試験には八木アンテナとダイポールアンテナを使用し、親機1台、子機1台で試験を行った。結果は八木アンテナを用いた試験の場合、障害物が無く見通しがきく場合には約1900m～3300mの試験結果が得られた。装置条件はA/Dモジュールを装着、加速度計非動作およびモニター無しで行った。一方、市街地でダイポールアンテナをしようした試験の場合、見通しのある場所で約100mの試験結果が得られた。

表4 通信距離試験の結果

	アンテナの種類	場所	地上高	親機と子機の高低差	通信可能距離	見通し	装置条件
(1)	八木アンテナ	猪苗代湖	3m湖面	0m	約1900m	あり	A/Dモジュール、加速度計非動作、モニター無し
(2)	八木アンテナ	河口湖	3m	約140m	約3300m	あり	A/Dモジュール、加速度計非動作、モニター無し
(3)	ダイポールアンテナ	市街地	1.5m	0m	約100m	あり	A/D装置、加速度計動作、モニターあり

(3) 無人ヘリコプター搭載試験

センサー試作機の問題点を明らかにするために、無人ヘリコプターへの搭載および設置試験を平成25年10月15日に樽前山の山腹部樽前ガローで行った。無人ヘリコプターは北海道開発局所有のRMAXG1を使用した。

本試験では、無人ヘリコプター内蔵のカメラをとおして、設置場所を確認し、ヘリコプターのウインチシステムを用いてゆっくりと降下させ、安定して設置することができた。



図7 左、北海道開発局所有の無人ヘリコプターと無人ヘリコプターを操作するオペレート室を完備した専用車両。右、子機を実際に設置した状況

5. 課題

各試験において開発中のシステムの課題が明らかとなった。データ伝送を無線で行っていく上でのシステムの問題点として、データの欠測や親機子機間の時刻同期が上げられる。伝送系としては、通信アンテナの再検討を行い通信距離の延長と実際の設置場所や設置環境でのデータ品質を確保することが上げられる。データの欠測に関してはファームウェアの改良や1次データ蓄積の考え方の改良が必要である。また、親機子機間の時刻同期としては、子機にもGPSを搭載することを検討する。ただし、GPSを搭載することによる消費電力増加に対応する必要がある。そのため、子機の消費電力テストを行い、搭載する電池容量を把握する必要がある。通信距離と実際の設置場所や設置環境でのデータ品質向上に関しては、見通しの確保が重要である。たとえば、親機のアンテナを気球などを用いて標高を上げ、見通しがきくようにするなどの対策が必要と考える。

また、今後必要な試験としては長時間の連続動作試験、親機1台に対して子機10台の試験が挙げられる。これらは次年度以降対応していく予定である。

6. おわりに

本研究では、無人ヘリコプターで運送可能な火山泥流検知システムの開発を行った。今年度は主にデータ伝送系のシステムの構築と改良を行い、試作機を作成して無人ヘリへの搭載実験を行った。その結果、無線通信では野外で100m以内の範囲での通信テストに成功した。センサーのバッテリーを除く重量は、予定重量10kgより十分に軽い3kgとなり、ヘリコプターへの搭載テストも成功した。一方、十分に安全な地点から観測するためには通信距離をより長くする必要があり、加速度センサーによる振動感知テストでは、加速度センサーの性能テストを十分に行う必要がある。

今後、通信距離を長くするために親機のアンテナの改良や、時刻の同期を行うためGPSの搭載テスト、子機の消費電力テストを行う。また親機1台に対して子機10台の通信テストを行い、各子機の振動時差を利用した泥流検知システム（振動時差感知システム）の開発を行う。

謝辞:本研究の無人ヘリコプター搭載試験に際しご協力いただいた北海道開発局室蘭開発建設部治水課、ならびに札幌開発建設部に感謝申し上げます。本研究は北海道道河川財団からの公募研究費を使用しました。

参考文献

- 1) 橋本武志・小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・吉本充宏・鈴木英一・柳澤孝寿, 無人ヘリコプターを利用した樽前山の空中磁気測量, 北海道大学地球物理学研究報告, 75, 145-159, 2012.
- 2) 橋本武志・小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・柳澤孝寿・吉本充宏・鈴木英一, 自律飛行無人ヘリコプターを利用した樽前山の空中磁気測量, Conductivity Anomaly研究会2013年論文集, 81-87, 2013.
- 3) Hashimoto, T., T. Koyama, T. Kaneko, T. Ohminato, T. Yanagisawa, M. Yoshimoto and E. Suzuki, Aeromagnetic survey using an unmanned autonomous helicopter over Tarumae Volcano, northern Japan, Explor. Geophys., <http://dx.doi.org/10.1071/EG12087>, 2013.
- 4) 金子隆之・大湊隆雄・小山崇夫・武尾 実・渡邊篤志・嶋野岳人・柳澤孝寿・青木陽介・安田 敦・本多嘉明, 自律型無人ヘリにより撮影した新燃岳火口およびその周辺域, 火山, 56, 171-173, 2011.
- 5) 鈴木英一, 火山観測の新しい技術—無人ヘリによる火山観測—, (公社)日本測量協会北海道支部測量, 第62号, 北海道支部報53-57, 2011.