

平成26-27年度 技術試験衛星Ⅷ型 (ETS-Ⅷ) を 用いた災害対応センサデータの伝送実験に 関する共同研究報告書



平成28年10月

国立研究開発法人 土木研究所
土砂管理研究グループ (火山・土石流)

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構

Copyright © (2016) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P. W. R. I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

平成26-27年度 技術試験衛星VIII型 (ETS-VIII) を用いた災害対応センサデータの伝送実験に関する共同研究報告書

国立研究開発法人 土木研究所	火山・土石流チーム	上席研究員	水野秀明
国立研究開発法人 土木研究所	火山・土石流チーム	主任研究員	藤村直樹
国立研究開発法人 土木研究所	火山・土石流チーム	元上席研究員	石塚忠範
国立研究開発法人 土木研究所	火山・土石流チーム	元研究員	泉山寛明
国立研究開発法人 土木研究所	火山・土石流チーム	元交流研究員	水谷 佑
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構	衛星利用運用センター	主任研究開発員	越川尚清
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構	衛星利用運用センター	主任研究開発員	阿世知裕一
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構	衛星利用運用センター	元主任開発員	橋本剛正
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構	衛星利用運用センター	元開発員	朴澤佐智子

要 旨：

国立研究開発法人土木研究所と国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構は、「技術試験衛星VIII型 (ETS-VIII) を用いた災害対応センサデータの伝送実験」に関する共同研究契約に基づき、災害の発生予測や減災に資するため、通信手段の確保が困難な活火山火口付近での噴火に伴う降灰を監視するセンサデータを、ETS-VIII衛星回線経由で配信可能であることを実証するための実験を行った。

平成25年度までに超小型端末により良好なデータ伝送を可能なことを確認したが、さらに火山噴火時のデータ伝送の実用性を検証するため、平成26年度は、降灰下におけるデータ伝送のデータ伝送の良否の検証を桜島で、平成27年度は、実災害時の対応を想定した設置訓練（組立、設置、計測、データ伝送の一連の作業を実施）を樽前山覚生川で行った。噴火中のデータ伝送についてもデータを繰り返し送信する通信方法によりデータの伝送に成功し、現場での使用を想定した設置訓練でも機器の設置からデータ伝送まで迅速に実施できることを確認し、実用性が検証できた。

キーワード： 自動降灰・降雨量計、技術試験衛星VIII型 (ETS-VIII) 、ETS-VIII、設置訓練

目 次

1. 研究の目的	1
2. 研究の概要	1
3. 実施体制	1
4. 研究内容	2
4.1. 事前検証	2
4.2. 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験	2
4.3. 実災害時の対応を想定した現地データ伝送実験	2
4.4. 評価・まとめ	2
4.5. 研究スケジュール	2
4.6. 作業場所	4
4.7. 使用機材の構成	4
5. 機器の概要	6
5.1. 超小型通信端末	6
5.1.1. 概要	6
5.1.2. 主な仕様	6
5.2. 自動降灰・降雨量計	7
5.2.1. 機器特徴	7
5.2.2. 機器仕様	8
6. 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験の結果	9
6.1. 事前検証	9
6.1.1. 機器の改良	9
6.1.2. 接続試験	10
6.1.3. データ項目と通信時間	12
6.2. 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験	13
6.2.1. 超小型通信端末の設置	13
6.2.2. 基地局の設置	16
6.2.3. 現地における降灰状況	17
6.2.4. 現地伝送実験結果について	20
7. 実災害時の対応を想定した現地伝送実験の結果	35
7.1. 自動降灰・降雨量計の設置訓練	35
7.1.1. 設置訓練の目的	35
7.1.2. 設置訓練の位置	35
7.1.1. 設置訓練の日程	37
7.1.2. 基地局の設置	38
7.1.3. 自動降灰・降雨量計の解体	39
7.1.4. 自動降灰・降雨量計の設置	40
7.2. ETS-VIIIによる自動降灰・降雨量計データ伝送に関する作業手順の整理	45
7.3. データ項目と通信時間	47
7.4. 現地伝送実験結果	47
8. まとめ総括	59
9. 今後の課題／展望	59

1. 研究の目的

国立研究開発法人土木研究所（以下、「土木研究所」という）と国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下、「JAXA」という）は、「技術試験衛星Ⅷ型（ETS-Ⅷ）を用いた災害対応センサデータの伝送実験」（以下、「本研究」という）に関する共同研究契約に基づき、災害の発生予測や減災に資するため、通信手段の確保が困難な活火山火口付近での噴火に伴う降灰を監視するセンサデータを、ETS-Ⅷ衛星回線経由で配信可能であることを実証する。

2. 研究の概要

土木研究所と国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所が所有する自動降灰・降雨量計（日本工営（株）との共同特許（特許第 4915676 号））に ETS-Ⅷ衛星回線に対応した超小型通信端末を取り付け、現在も活発な噴火活動を続ける鹿児島県桜島火山の降灰エリアにおいて、現地伝送実験を実施する。また、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部が所有する自動降灰・降雨量計（日本工営（株）との共同特許（特許第 4915676 号））に同端末を取り付け、樽前山覚生川に実災害時の対応を想定して組立、設置、計測、データ伝送の一連の流れを含んだ設置訓練を実施する。

これらの成果を土木研究所が取りまとめ、同端末の大規模土砂災害対応センサへの適用可能性を評価する。JAXA はその結果を受け、将来の通信衛星の開発に資する要求条件を抽出する。

3. 実施体制

本研究の実施体制を以下に示す。

表 1 実施体制

機関名	氏名	所属・職名
土木研究所	水野 秀明	土砂管理研究グループ（火山・土石流）上席研究員
	○藤村 直樹	同 主任研究員
	石塚 忠範	同 元上席研究員
	泉山 寛明	同 元研究員
	水谷 佑	同 元交流研究員
JAXA	越川 尚清	衛星利用運用センター 主任研究開発員
	○阿世知 裕一	同 主任研究開発員
	橋本 剛正	同 元主任開発員
	朴澤 佐智子	同 元開発員
国土交通省 九州技術事務所	○坂井 佑介	火山防災減災課 元課長
	大木 鉄夫	同 元係長
	山口 学	同 係長
	多田 幸平	同 元技官
	島崎 剛	九州防災・火山技術センター 建設専門官
国土交通省 北海道開発局	○石田 時代	室蘭開発建設部 治水課 上席治水専門官
	川崎 信彦	室蘭開発建設部 治水課 元治水専門官

※○：主たる研究担当者

4. 研究内容

4.1. 事前検証

「技術試験衛星Ⅷ型（ETS-Ⅷ）を用いた災害対応センサデータの伝送実験に関する共同研究報告書（平成26年5月）」（以下、「過年度報告書」という）によって得られた課題に対して改良検討および改良を行う。

JAXA 構内において、自動降灰・降雨量計に ETS-Ⅷの超小型通信端末を接続し、JAXA が提供する ETS-Ⅷ衛星回線を使用した伝送実験を JAXA と共同で実施する。

4.2. 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験

鹿児島県桜島有村川流域および黒神川流域に設置されている自動降灰・降雨量計に ETS-Ⅷの超小型通信端末を接続し、約1.5カ月にわたり現地データ伝送実験を行う。現地で取得したデータは ETS-Ⅷを介して九州技術事務所に設置された実験システム基地局に伝送され、伝送されたデータはメールにて九州技術事務所職員から JAXA および土木研究所に提供される。初期接続時に、通信状態を確認するものとする。

4.3. 実災害時の対応を想定した現地データ伝送実験

北海道開発局による樽前山覚生川における設置訓練において、試験設置されている自動降灰・降雨量計を一度解体した上で、実災害時の対応を想定し、組立、設置、計測、データ伝送の一連の作業を自動降灰・降雨量計の設置訓練として実施する。現地で取得したデータは ETS-Ⅷを介して樽前山火山対策防災拠点施設に設置された実験システム基地局に伝送される。設置訓練後、現地の ETS-Ⅷ衛星回線に関する受信率を評価するため、現地伝送実験を半日程度実施する。

4.4. 評価・まとめ

鹿児島県桜島で実施したデータ伝送実験の結果を整理し、データの欠損状況等を天候および降灰状況とあわせて評価する。また、ETS-Ⅷの超小型通信端末によるデータ配信が可能であることの確認、本端末の大規模土砂災害対応センサへの適用可能性を評価する。

樽前山覚生川における設置訓練において、ETS-Ⅷによるデータ伝送を想定した自動降灰・降雨量計の組立、設置、計測、データ伝送に関する作業手順および作業時間と作業人数について整理を行うとともに、データの受信率欠損状況等を評価する。また、ETS-Ⅷの超小型通信端末によるデータ配信が可能であることの確認、本端末の大規模土砂災害対応センサへの適用可能性を評価し、土木研究所と JAXA で成果報告書を作成する。

4.5. 研究スケジュール

本研究のスケジュールを以下に示す。

表 2(1) 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験スケジュール

項 目	平成 26 年			平成 27 年		
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
実施計画策定	←→	→				
機材準備		←→	→			
自動降灰・降雨量計センサ						
ETS-VIIIの超小型通信端末						
機材の設置			↔			
機材の回収						↔
事前実証		↔				
自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験				←→	→	
評価・まとめ						←→

表 2(2) 実災害時の対応を想定した現地伝送実験スケジュール

項 目	平成 27 年			平成 28 年		
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
実施計画策定	←→					
機材準備	←→					
自動降灰・降雨量計センサ						
ETS-VIIIの超小型通信端末						
超小型通信端末 実験システム基地局 外付アンテナ(1.2m)含む						
自動降灰・降雨量計の 設置訓練・データ伝送実験	↔					
評価・まとめ		←→	→	→	→	

4.6. 作業場所

本研究の作業場所を以下に示す。

- ・ 土木研究所 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6
- ・ JAXA 筑波宇宙センター 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1
- ・ 九州地方整備局九州技術事務所 〒830-8570 福岡県久留米市高野 1-3-1
- ・ 鹿児島県桜島有村川流域・黒神川流域
- ・ 樽前山火山対策防災拠点施設 〒059-0921 北海道白老郡白老町石山 20-24
- ・ 樽前山覚生(おぼっふ)川遊砂池

4.7. 使用機材の構成

本研究の機器構成を以下に示す。

(1) 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験 (鹿児島県桜島)

表 3(1) 使用機材

	設備・機器名	数量	設置場所
1	自動降灰・降雨量計センサ	2 台	鹿児島県桜島有村川流域・黒神川流域
2	ETS-Ⅷ超小型通信端末	2 台	鹿児島県桜島有村川流域・黒神川流域
3	超小型通信端末 実験システム基地局 外付アンテナ(1.2m)含む	1 台	九州地方整備局九州技術事務所
4	データ送信用 PC 端末	1 台	九州地方整備局九州技術事務所

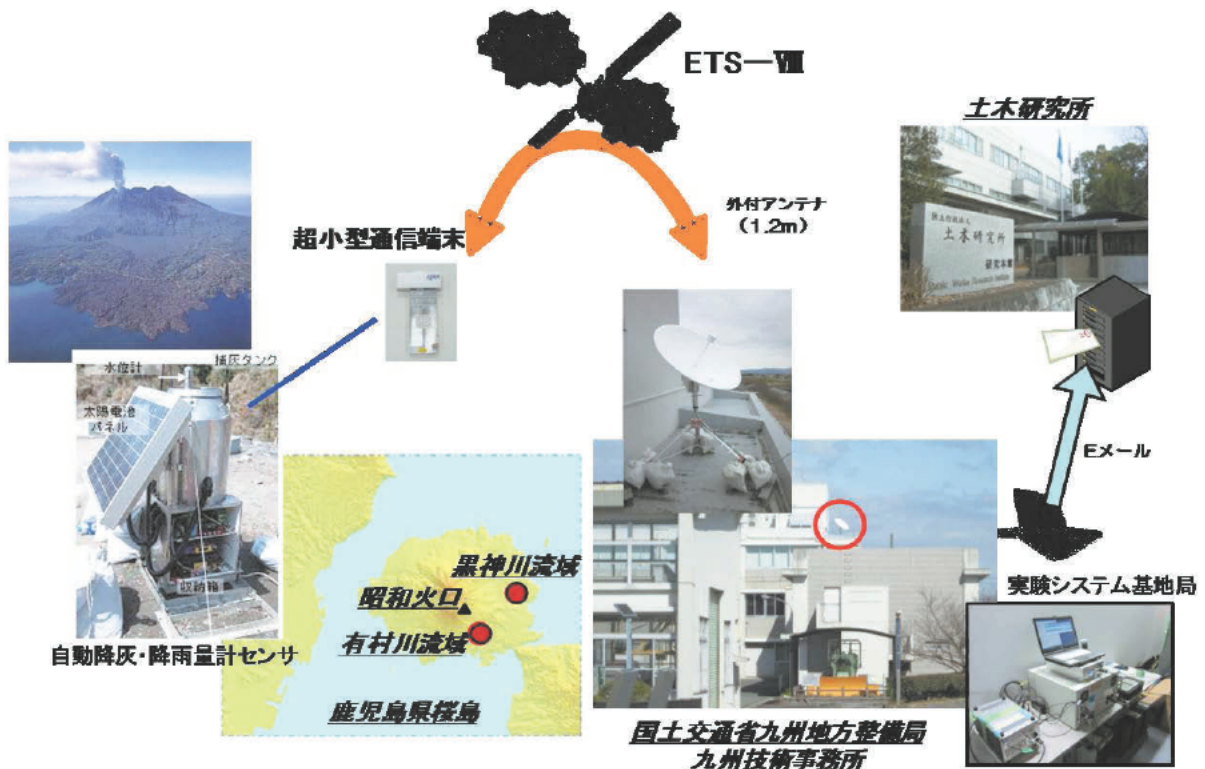


図 1(1) 機器構成*

※有村川流域設置のものは、土木研究所所有の自動降灰・降雨量計（以下、有村機）、黒神川流域設置のものは、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所所有の自動降灰・降雨量計（以下、黒神機）である。

(2) 実災害時の対応を想定した現地データ伝送実験（北海道樽前山）

表 3(2) 使用機材

	設備・機器名	数量	設置場所
1	自動降灰・降雨量計センサ※	1台	樽前山覚生川遊砂池
2	ETS-VIII超小型通信端末	1台	樽前山覚生川遊砂池
3	超小型通信端末 実験システム基地局 外付アンテナ(1.2m)含む	1台	樽前山火山対策防災拠点施設



図 1(2) 機器構成※

※覚生川遊砂池に設置のものは、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部所有の自動降灰・降雨量計である。

5. 機器の概要

5.1. 超小型通信端末

JAXA と富士通 (株) との共同開発による簡易情報伝送システムの超小型通信端末の概要を以下に示す。

5.1.1. 概要

簡易情報伝送システムは、センサ情報のような少量のデータを簡易なインタフェースで収集することを想定したシステムであり、端末から基地局へ効率的に伝送できるシステムである。そのため、最小機能においては、システム上のデータの到達確認や再送制御は行わず、伝送データに抜けがあることを許容できるアプリケーションでの利用を想定している。

端末からの同じデータを繰り返し送信するソフトを開発、実装することで、簡易に到達の成功率を高めるものである。さらに、データの到達確認以外、基地局から端末局へ時刻情報やフラグを準備していることからソフト開発による機能拡張を可能としている。

5.1.2. 主な仕様

当該システムの主な仕様を以下に示す。

■機能概要：

センサ・制御部に実装した 1chip CPU のソフトを開発することで下記の動作が可能

- 衛星通信部の電源 OFF による端末側の低消費電力化
- 1chip CPU のソフトで RTC を実現し自律で間欠動作
- 基地局からの時間情報を受信しシステム同期可能
- I2C、UART のセンサとの通信

■電源：DC5V、USB 供給又は汎用コネクタ (2.54 ピッチ/□0.65)

■接続方式/接続端子：

- USB (デバイス側)/マイクロ USB
- UART/汎用コネクタ (2.54 ピッチ/□0.65)
- I2C/汎用コネクタ (2.54 ピッチ/□0.65)

■消費電力：3W 以下

センサ・制御部+衛星通信部(送信出力 0.5W)

■重量：約 200g

■サイズ：約 26mm×85mm×160mm

■伝送レート：50bps

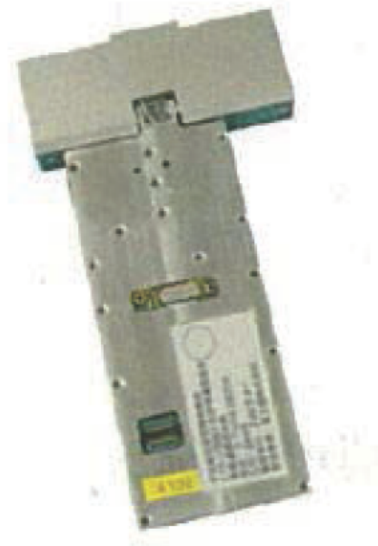


図 2 超小型通信端末

5.2. 自動降灰・降雨量計

5.2.1. 機器特徴

火山噴火活動に伴い降下した火山灰等に覆われた溪流では、その後の降雨によって容易に土石流が発生することが知られており、その傾向は火山灰等の堆積量が増大すると顕著になると言われている。さらに、堆積した火山灰は雪のように溶けないため、生活や交通確保のための除去、運搬等を行わなければならない。このように噴火による火山灰の堆積は人間生活に大きな影響を与えるため、その分布範囲や堆積量を迅速かつ精度良く推定することは防災上重要なテーマである。そこで、噴火中に極力人間が近づくことなく、火山灰の堆積重量・厚さを観測する手法として、自動降灰・降雨量計が開発されている。当該観測機器は国立研究開発法人土木研究所と日本工営株式会社が共同開発した機器である。以下に自動降灰・降雨量計の特徴を示す。

- 設置は、地形を選ばず、半日程度で終了し、設置作業が簡単である。
- 排水機能を備えており、容器底からの排水により容器内に堆積した火山灰層の透水係数を測定できる（オプション）。
- 排水機能によって雨水のオーバーフローを回避することが可能であり、降雨量計の機能を持つ。

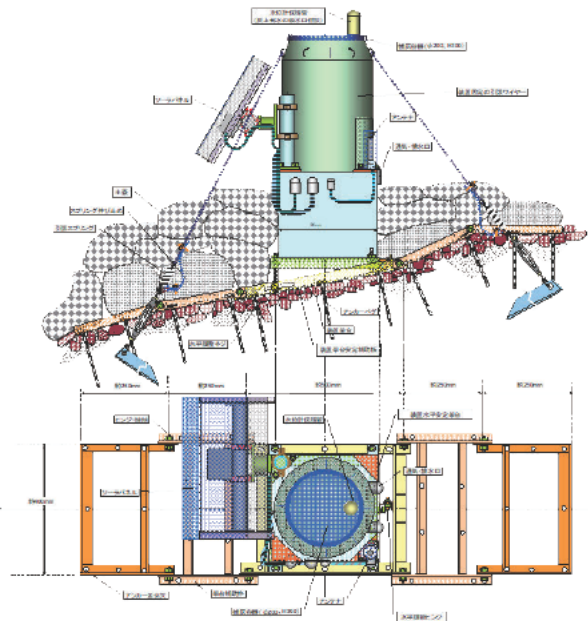


図 3 自動降灰・降雨量計の外観

5.2.2. 機器仕様

自動降灰・降雨量計は、火山灰と雨水の合計重量をステンレス製容器の下部に設けたロードセルで荷重を計測し、同時に容器内に設けた水位計により水位を計測する機器である。計測値から、火山灰粒子の密度と水の密度に基づいて火山灰と雨水の重量を分離計算し、且つ、観測地点周辺に堆積した火山灰の単位体積重量の値を用いて火山灰の重量を厚さに換算する。また、本機には排水機能を備えており、容器底から排水を行い、計測した水位と時間の関係から堆積した火山灰層の透水係数の測定が可能であり、また、上水排水を行うことにより雨水のオーバーフローを回避し、降雨量も計測できる。機器の全体構成概要を以下に示す。

- 機器構成：水位計、ロードセル、データロガー、通信セット、バッテリー、ソーラパネル
- 測定項目：温度、荷重、水位、及び演算による火山灰重量と堆積厚
- ロードセル定格容量：196N (20kgf)
- 水位計定格容量：30cm
- 記録方法：データロガーの内部メモリデータ
- 通信セット：FOMA 携帯通信セット(ぐるぐる Gateway)
- 電源：DC12V
- バッテリー：約 10 日の停電（無日照）においても計測可能（但し、通信などの使用頻度によって異なる。）
- 主要材質：ステンレス（捕灰容器部、機器収容部の管体）
- 外形寸法：捕灰容器部 $\phi 200 \times H300\text{mm}$ 程度 ※水位計保護管等突起物除く
- 機器収容部 $W300 \times D300\text{mm} \times H300\text{mm}$ ※ソーラパネル部等突起物除く重量：70kg 程度

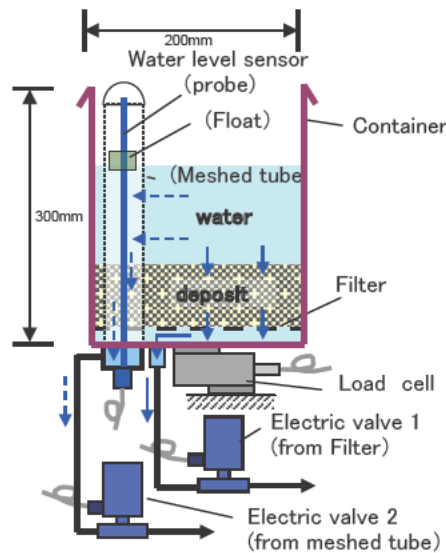


図 4 自動降灰・降雨量計の概要構成図

自動降灰・降雨量計においては、下式を利用して、火山灰の堆積重量と堆積厚を求める。

$$W_s = (W - S \cdot D \cdot \rho_w) / (1 - \rho_w / \rho_s) \quad (1)$$

$$L = (W - S \cdot D \cdot \rho_w) \cdot \rho_s / \{(\rho_s - \rho_w) \cdot \rho_d \cdot S\} \quad (2)$$

ここに、 W_s : 火山灰堆積重量、 L : 火山灰堆積厚、 S : 補灰容器の有効断面積、 D : 計測水位、 ρ_w : 水の密度、 ρ_s : 火山灰の土粒子密度、 ρ_d : 火山灰の乾燥密度、 W' : 計測重量、 W_0 : 補灰容器等の重量、 $W = W' - W_0$ である。

6. 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験の結果

6.1. 事前検証

6.1.1. 機器の改良

過年度報告書で以下の課題が確認された。

- センサと超小型通信端末のインタフェースの問題もしくは超小型通信端末の内部処理の問題による欠測
- マルチパスや仰角変動による通信低下

上記のような課題に対して対応策の検討を行い、以下のとおり機器の改良を行った。

表 4 発生原因と対応方法

課題	発生原因	対応方法
センサと超小型通信端末のインタフェースの問題もしくは超小型通信端末の内部処理の問題による欠測	過年度実験では明らかとなっていない	【センサ側】センサと超小型通信端末のインタフェースの問題か超小型通信端末の内部処理の問題かを明らかにすることは難しいが、センサ側の送出データ自体に問題がないかを確認することを目的に、センサ側に超小型通信端末に送出したデータを蓄積する機能を設けた。
マルチパスや仰角変動による通信低下	マルチパスや仰角変動	【超小型通信端末側】約 3dB 利得の高いアンテナに変更



図 5 改良した通信アンテナ

6.1.2. 接続試験

機器の改良実施後、JAXA 筑波宇宙センター敷地内にて、データ送信及び受信に関する接続試験を行い、機器の改良により正常にデータが送受信されているかどうか確認を行った。

しかし、自動降灰・降雨量計本体は、桜島に設置されており現物がないため、現地の機器構成を可能な限り模擬した仮の実験装置とした。データは10分毎に基地局側へ送信され、毎00分、20分、40分は「時間(年月日時分)」・「バッテリー電圧(V)」・「緯度(分のみ)」(送信パターン1, 正常データという位置づけ)を、毎10分、30分、50分は「時間(年月日時分)」・「バッテリー電圧(V)」・「99(ダミーデータ)」(送信パターン2, バグデータという位置づけ)を交互に送信させることで、データの品質を確認した。

その結果、データの文字化けもなく、指定時間に期待されるデータが送受信されていることを確認した。

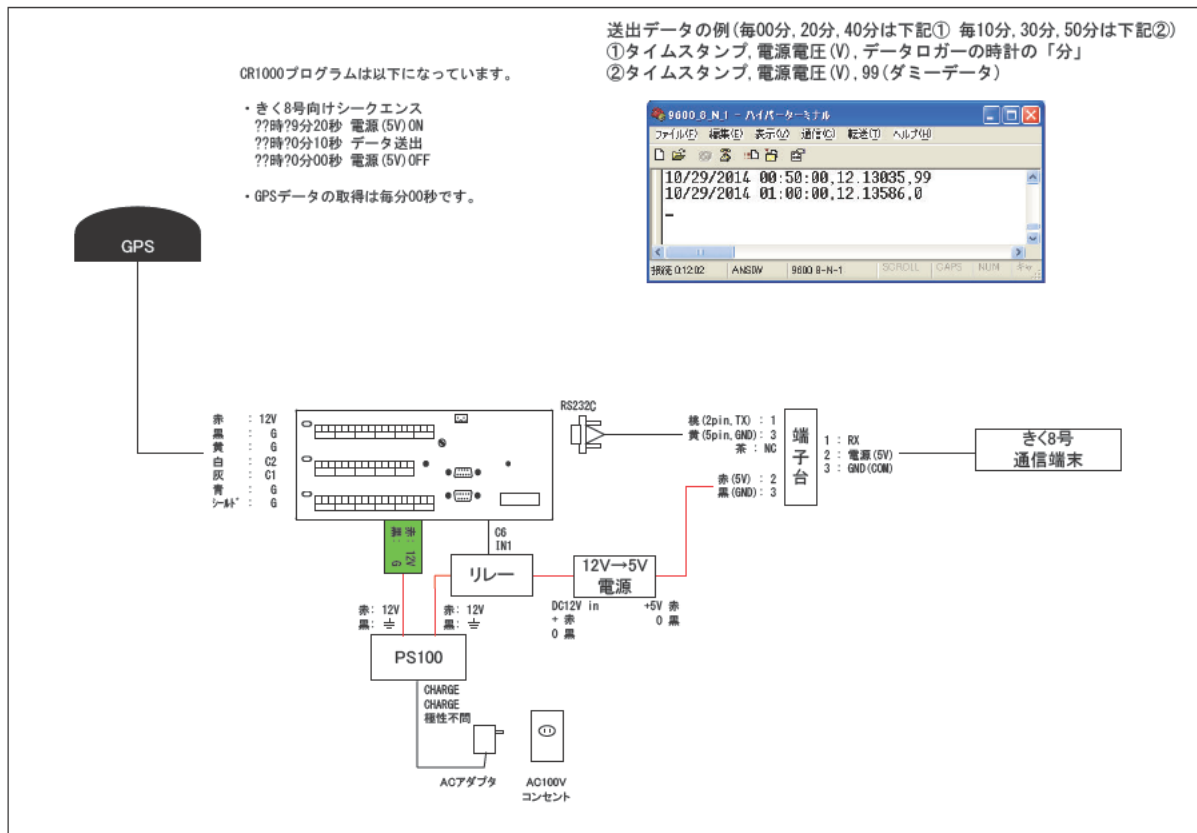


図 6 データ送信側の機器構成



(a) 送信局



(b) 基地局 (左: 受信システム、右: 受信アンテナ)

図 7 接続試験の状況

6.1.3. データ項目と通信時間

データ項目については、過年度報告書と同様「時間（年月日時分）」・「重量（kgf）」・「水位（cm）」の3項目とした。「重量（kgf）」・「水位（cm）」は毎正10分の1分前からの10秒計測に基づく1分間平均値である。

また、超小型通信端末の通信時間についても過年度報告書と同様に下表のとおりとした。

表 5 通信時間の比較

項目	通信時間
超小型通信端末の通信 1 回あたりの通信継続時間	100 秒
超小型通信端末の電源起動時間帯	24 時間

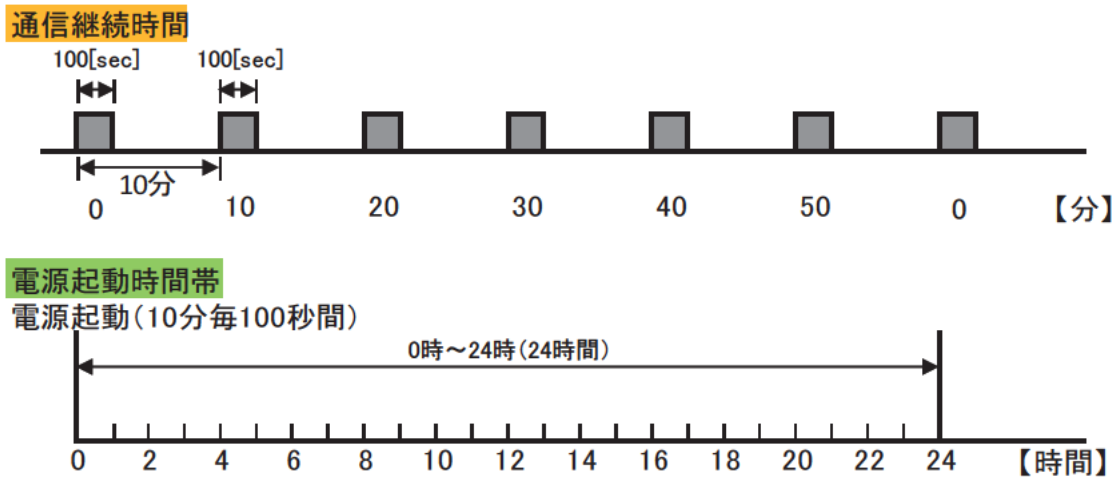


図 8 通信継続時間と電源起動時間帯の模式図

6.2. 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験

6.2.1. 超小型通信端末の設置

平成 26 年 12 月 17 日～18 日に鹿児島県鹿児島市桜島有村川 3 号堰堤近傍にある自動降灰・降雨量計（有村機）および黒神川下流にある自動降灰・降雨量計（黒神機）に超小型通信端末と GPS を設置した。

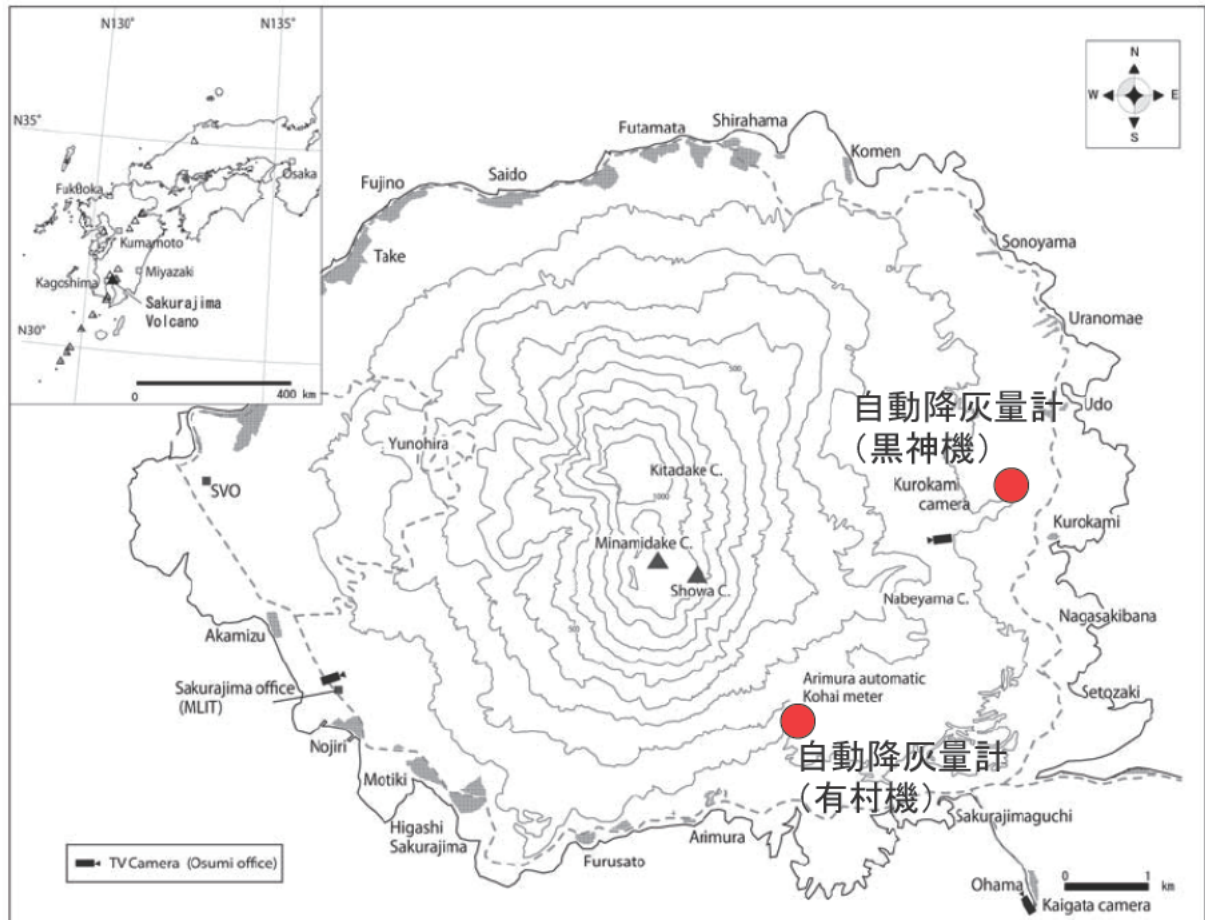


図 9 設置地点位置図

図 10 に示すとおり、超小型通信端末と GPS を設置した。超小型通信端末については防水プラスチック製容器に収納し、それを自動降灰・降雨量計付近に打ち込んだ単管パイプに当該通信端末とアンテナを取り付けて、表 6 に示す方位角や仰角となるように調整を行った。また、プラスチック製容器の上面に火山灰が堆積すると通信を妨げるおそれがあるため、三角錐型の外被（プラスチック製）をさらに被せることとした。

表 6 設置位置及び設置方位・仰角

設置地点	設置位置	アンテナ方向
有村機	31° 33' 49.02"N 130° 40' 35.85"E	AZ : 約 150° 方向 EL : 約 55° 方向
黒神機	31° 35' 13.73"N 130° 42' 00.66"E	AZ : 約 150° 方向 EL : 約 55° 方向

AZ : 方位角, EL : 仰角



(a) 有村機



(b) 黒神機

図 10 超小型通信端末と GPS 設置状況

6.2.2. 基地局の設置

平成 27 年 1 月 13 日～14 日に九州技術事務所に基地局が設置された。据付時に、自動降灰・降雨量計のデータが 10 分毎に正常に受信されていることを確認した。運用時の基地局の稼働時間帯は、九州技術事務所職員の出勤時間帯とした。なお、平成 27 年 1 月 22 日(木)～26 日(月)の期間は、ETS-VIII が他の実験に供するため、実験休止期間としたが、噴火が活発化したことから、1 月 25 日と 26 日はデータを別途 JAXA の筑波宇宙センターにて受信することとした。



(a) 受信システム



(b) アンテナ

図 11 基地局設置状況

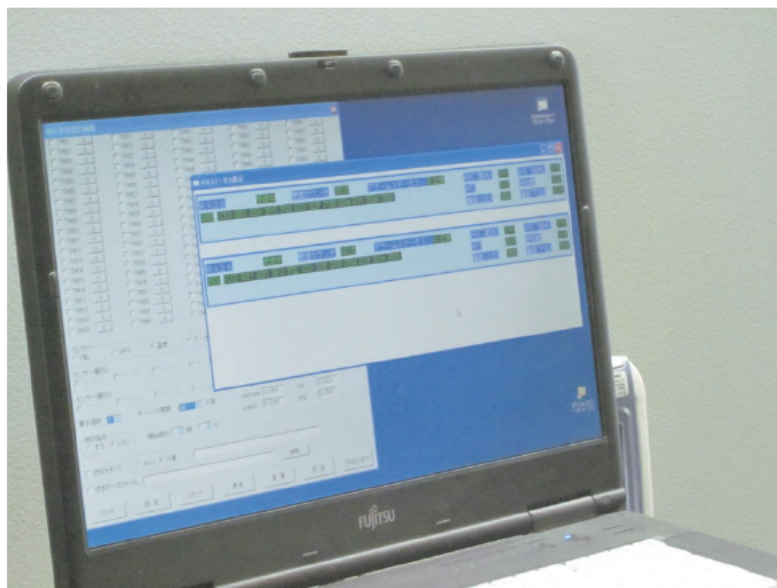


図 12 データ受信確認状況

6.2.3. 現地における降灰状況

平成26年12月18日から平成27年3月3日までの累積降灰量の推移(1時間データ)を図13に示す。各地点に時折見られるデータの飛び跳ねは、鳥等の外的要因によるものと考えられる。なお、図上段の▲は、気象庁による噴火・爆発の日時を示している(詳細は巻末資料参照)。赤い▲は、そのうち、噴煙の流向が有村機で南東方向、黒神機で東方向のものである。現地は、最近主として噴火を繰り返す昭和火口から、有村機で南東方向、黒神機で東方向に位置している(図20参照)。

(1) 有村機

全期間通じた降灰量は約41.9kg/m²である。これは、堆積密度を仮に1.5g/cm³とすると、約28mmの降灰に相当する。

図14に伝送実験期間中の累積降灰量の推移を示す。図中の青い破線で挟まれた時間帯が通信試験の時間帯である。この期間には、約27.5kg/m²の降灰が認められ、そのうち平成27年2月17日19時54分に発生した南東方向への噴火を明瞭に検知していることが確認された(図15)。

なお、降灰量は南東方向への噴火のタイミング以外でも増加しているが、これは引用している気象庁ホームページの「噴火に関する火山観測報」¹⁾では、ごく小規模な噴火は発表されていないことから、実際は南東方向への噴火のタイミング以外でも南東方向への降灰があったと考えられる。

(2) 黒神機

全期間通じた降灰量は約5.9kg/m²である。これは、堆積密度を仮に1.5g/cm³とすると、約3.9mmの降灰に相当する。

図14の伝送実験期間中の累積降灰量の推移によると、この期間には、約2.7kg/m²の降灰が認められたが、通信試験期間中、東方向への噴火のタイミングで降灰は確認されなかった。しかし、有村機と同様の理由で、東方向への噴火のタイミング以外でも東方向への降灰があったと考えられる。

《引用文献》

1) 気象庁, 噴火に関する火山観測報

<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/gensho.html>

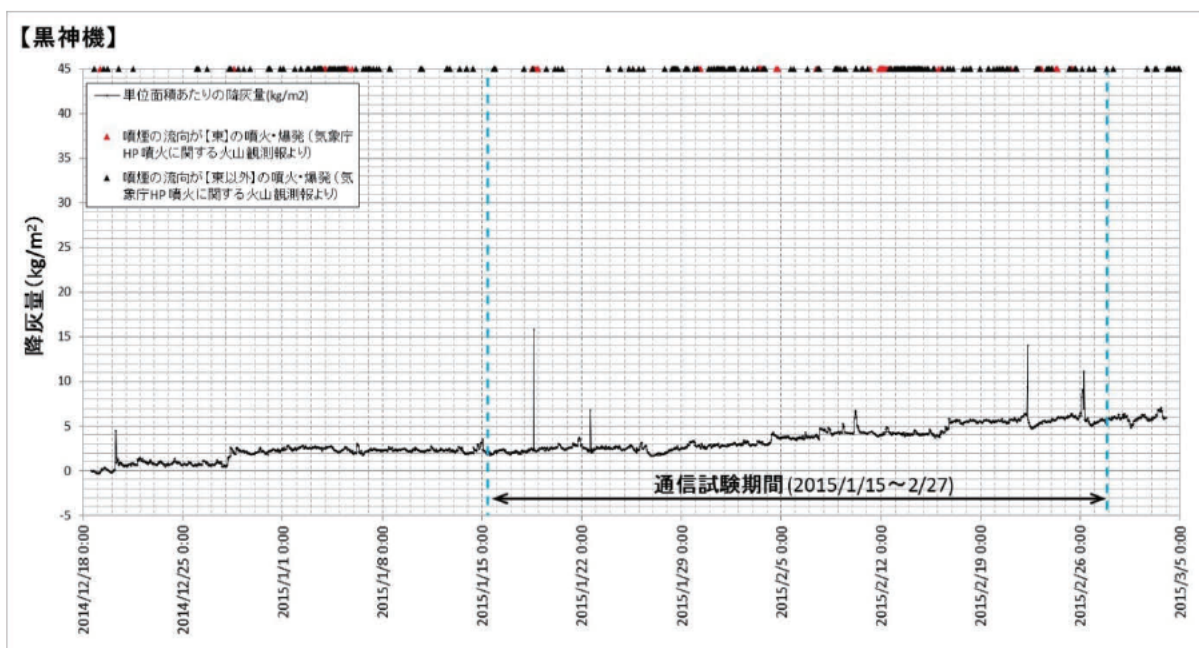
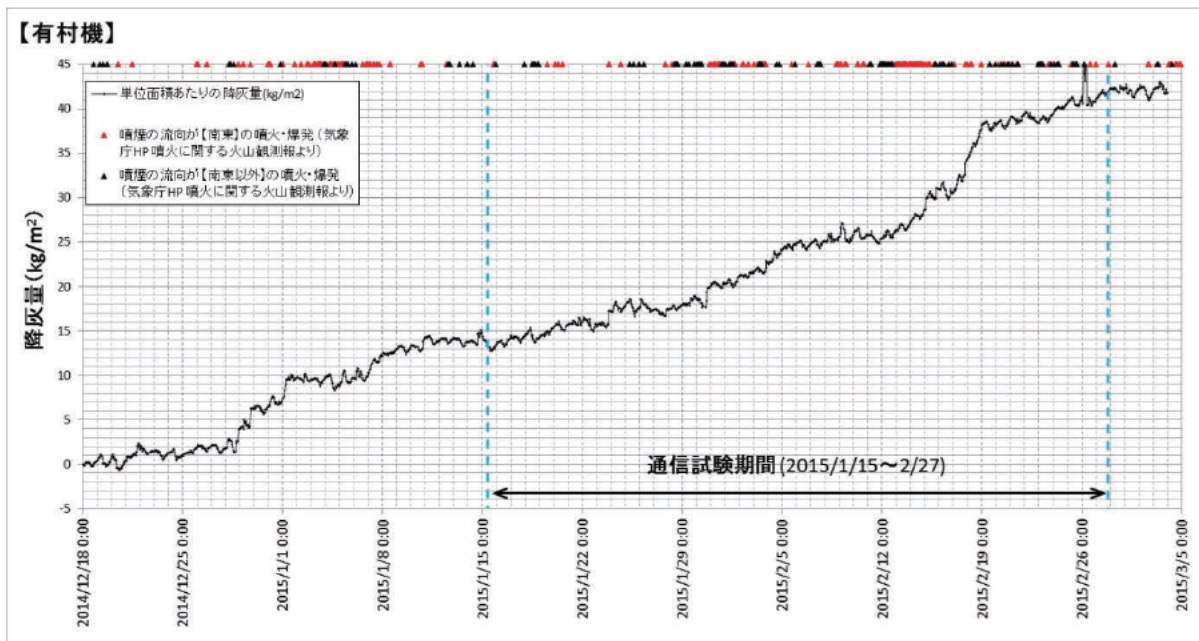


図 13 平成 26 年 12 月 18 日～平成 27 年 3 月 3 日の累積降灰量(1 時間データ)の推移

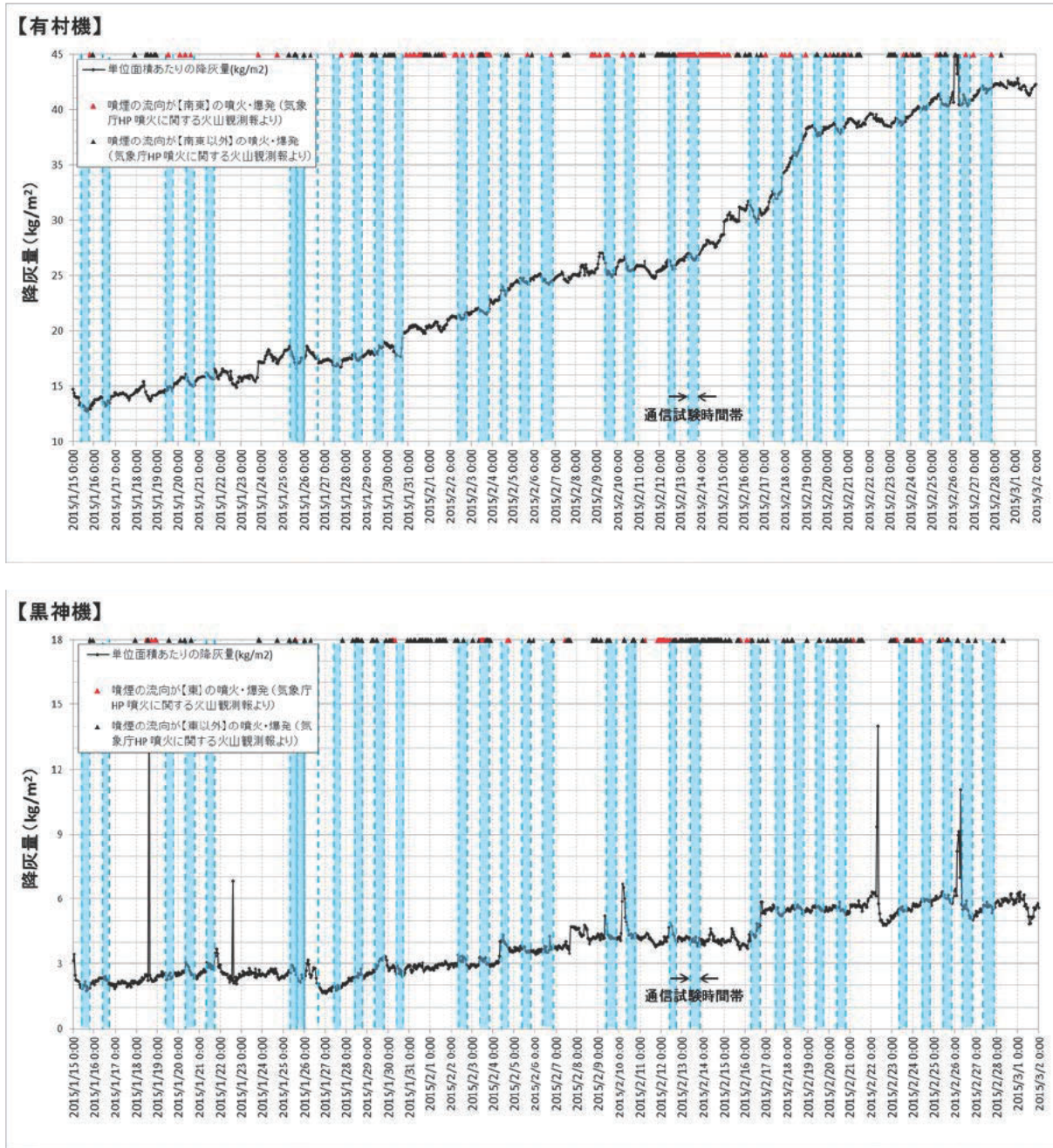


図 14 伝送実験実施期間中(平成 27 年 1 月 15 日～2 月 27 日)の累積降灰量(1 時間データ)の推移

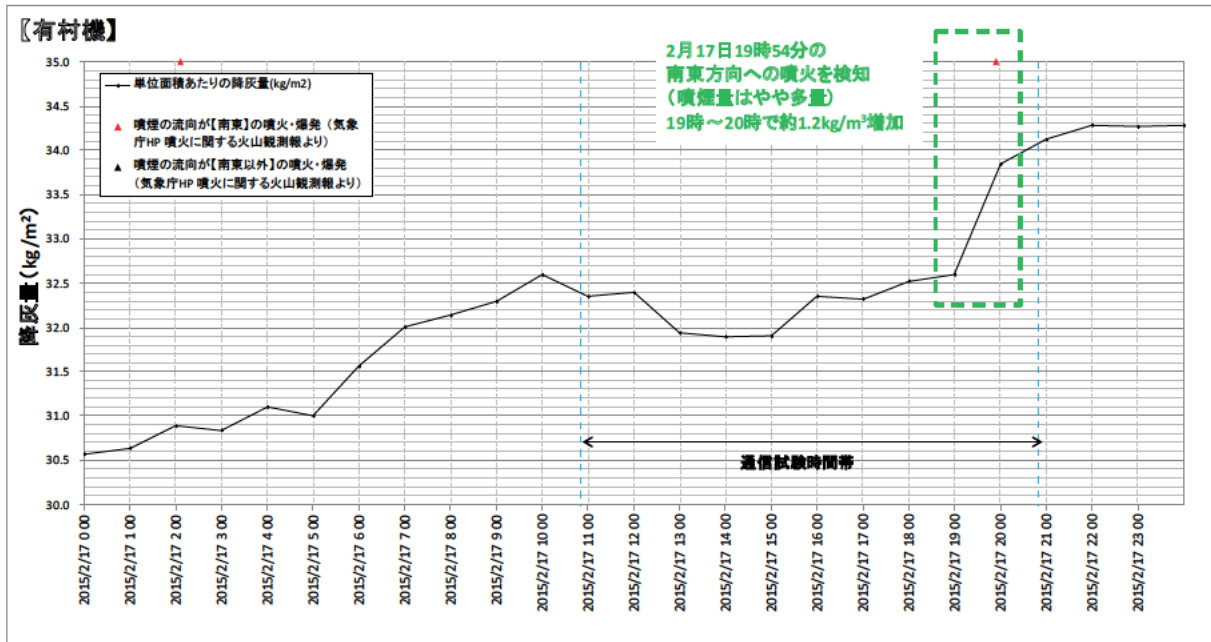


図 15 通信期間中に降灰量を明瞭に検知した事例 (平成 27 年 2 月 17 日 有村機)

6.2.4. 現地伝送実験結果について

現地伝送実験は、平成 27 年 1 月 15 日～2 月 27 日に実施した。以下に、自動降灰量計に実装された超小型通信端末からの送信から基地局での受信までの流れを示す。

「時間 (年月日時分)」・「重量 (kgf)」・「水位 (cm)」の 3 項目からなる送信データは、超小型通信端末内で 1 回に送ることが可能なデータ量に分割される。この時、1 回に送ることが可能なデータ単位を「フレーム」という。今回の実験では、送信データは 2 フレームに分割される。フレームは超小型通信端末により約 4 秒毎に 1 フレームずつ伝送され、基地局で受信される。2 フレーム連続で受信できた場合には統合され、受信データが生成される。この時 2 つのフレームが統合されて生成されたデータ単位を「レコード」という。なお、2 フレームのうち 1 フレームでも未受信または、2 フレームのデータを連続で受信出来なかった場合には該当するレコードは生成されない。

本実験では、データの受信率を上げるため、通信継続時間 (100 秒) のうち超小型通信端末と基地局が同期する時間等を除いた約 50 秒間でフレームが 11～12 回送信されるようにした。そのため、レコードは最大 6 個生成されることになる。これらのレコードは送信データそのものであるため、レコードが 1 個以上生成されれば、送信データを取得できたと評価される。

なお、超小型通信端末は、伝送実験期間中は常に 10 分間隔でフレームを送信するようになっている。したがって、基地局側は、この期間内で基地局の電源を起動していればいつでも 10 分間隔でフレームを受信することが出来る。なお、本実験では基地局の電源の ON/OFF は九州技術事務所管理職員の出勤時間帯に合わせて実施されたため、日毎に基地局の電源起動時間は変動する。

図 16 にレコード生成イメージを、図 17 には、送信側と受信側の電源 ON/OFF の関係を示す。

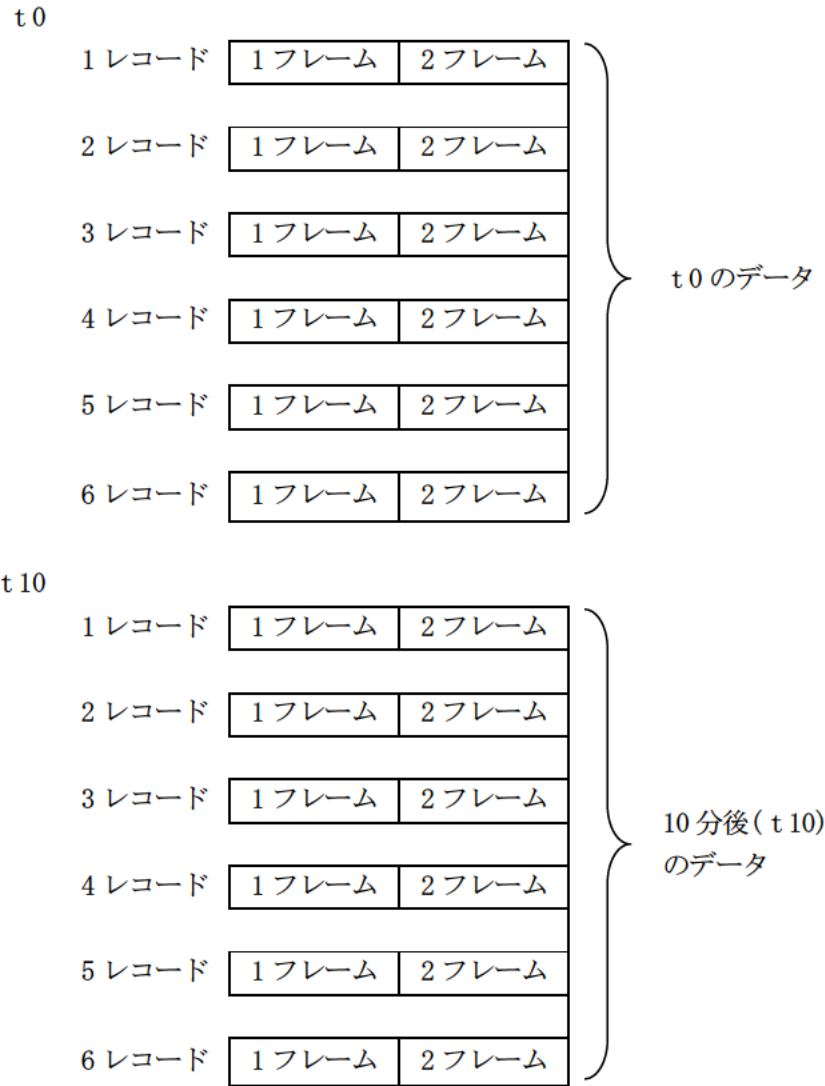
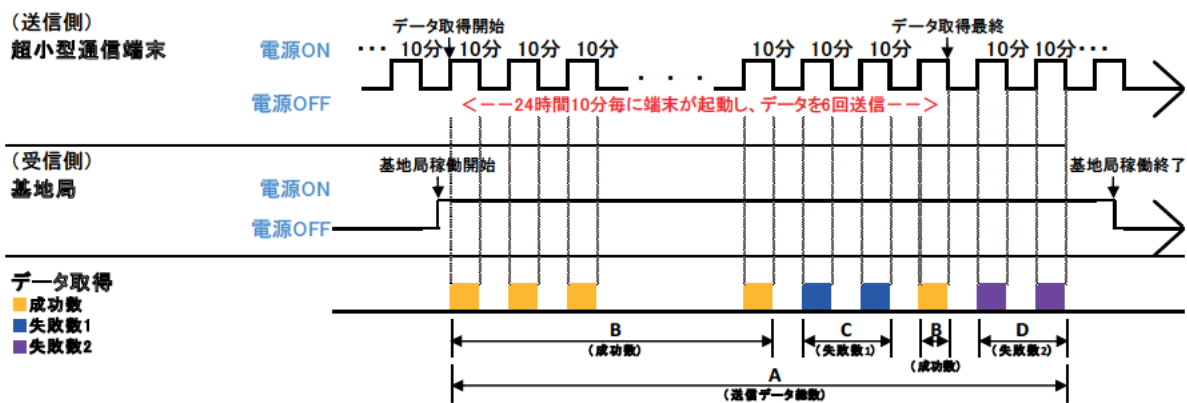


図 16 レコード生成イメージ



■説明

A(=B+C+D)	基地局稼働時間帯に送信されたデータ数
B	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでに正しく受信されたデータ数
C	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでに正しく受信されなかったデータ数
D	データを最後に取得してから基地局が稼働終了するまでに正しく受信されなかったデータ数

図 17 送信側と受信側の電源 ON/OFF の関係

(1) フレーム受信結果

統計では有村、黒神ともにフレーム受信率は78%を超えており、日単位でも受信率が90%を超えている日もあるように比較的良好な通信品質であった。6.1.1項に示す通り機器の改良を行ったが、目立った改善が見られなかったため、受信率の向上については引き続き検証が必要と考える。なお、降雨と受信率の関連はないと推測される。

また、以下の事象については過年度と同様である。

- ・ETS-VIIIは南北制御をしていないため仰角が変動する。衛星が変動すると基地局と超小型通信端末間の遅延時間が変動し、端末間の同期が出来なくなるが基地局の遅延時間パラメータを動的に更新することで解決した。
- ・同事象によるドップラの周波数偏移が発生するが、衛星側で動的に周波数を変更しており、通信品質への影響はない。

表 7 フレーム受信結果

日付	フレーム受信結果						降水量 ※参考 鹿児島(mm)
	有村(RX57)			黒神(RX33)			
	送信	受信	受信率(%)	送信	受信	受信率(%)	
1月15日	638	524	82.1	638	476	74.6	37.5
1月16日	462	422	91.3	462	372	80.5	0
1月19日	638	544	85.2	638	532	83.3	0
1月20日	660	555	84.1	660	493	74.7	0
1月21日	572	451	78.8	572	489	85.5	24.5
1月25日	440	387	87.5	440	301	68.4	0
1月25-26日	1001	708	70.7	1001	791	79.0	0
1月26日	594	423	71.2	594	461	77.6	51
1月27日	506	467	92.3	506	427	84.4	0
1月28日	616	443	71.9	616	485	78.7	0
1月29日	660	496	75.2	660	467	70.6	4
1月30日	528	383	72.5	528	402	76.1	5
2月2日	638	491	77.0	638	523	82.0	0
2月3日	748	648	86.8	748	596	79.7	0
2月4日	561	419	74.6	561	396	70.6	0
2月5日	638	484	75.9	638	460	72.1	0
2月6日	781	590	75.5	770	620	80.5	0
2月9日	693	484	69.8	693	490	70.7	0
2月10日	627	471	75.1	627	511	81.5	0
2月12日	539	412	76.4	539	435	80.7	2
2月13日	748	600	80.2	748	595	79.5	0
2月16日	682	609	89.3	682	567	83.1	2
2月17日	638	504	79.0	638	471	73.8	0
2月18日	671	496	73.9	671	517	77.0	0
2月19日	528	407	77.0	528	441	83.5	0
2月20日	693	553	79.8	693	557	80.4	0
2月23日	528	412	78.0	528	429	81.3	0
2月24日	616	455	73.9	616	492	79.9	0
2月25日	616	531	86.2	605	502	83.0	0
2月26日	715	496	69.4	704	567	80.5	28
2月27日	715	496	69.4	704	567	80.5	0
統計	19690	15361	78.4	19646	15432	78.5	

(2) データ・レコード受信結果

表 8、表 11 に各地点の伝送実験結果を示す。同表は、送信データ、受信データ、成功率、失敗率に分類し、各項目でデータを取り纏めたものである。

表 10、表 12 には各地点の欠測レコードの統計一覧を示す。同表は、欠測を 4 種類に分類し、各項目でデータを取り纏めたものである。欠測については、以下のとおり定義した。

完全欠測：データ自体が全く受信されなかったもの

各日のデータを最後に取得してから基地局が稼働終了するまでの間に発生した欠測も確認されたことから、原因の分析のためにデータを最後に取得するまでに発生したケース(完全欠測ケース 1)とデータを最後に取得した後に発生したケース(完全欠測ケース 2)とで欠測を分けて取り扱った。

部分欠測：データは受信されたが、日付の一部、計測データの一部が欠測しているもの

レコード過多：データは受信されたが、レコードが 7 以上受信され、かつ部分欠測であるもの

レコード数については、データが毎 10 分で最大 6 レコード受信できるとして整理を行った。そのためレコード過多による欠測については、7 レコード以上受信されているが、ここでは 6 レコード分の欠測という取扱いにした。

1) 有村機

現地伝送期間内において、基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでの受信成功率は、全期間を通じて約 91%と高い値が得られた。しかし、1月26日は、他の日と比べて相対的に成功率が低く、約 62.4%であった。図 14 によると、その日の通信試験時間帯に降灰はほとんど生じていないと考えられ、降灰の影響とは考えにくい。一方、この日の桜島側の天候は大雨であり、図 18(1)を見ると、降雨が 10 分雨量(自動降灰量計の水位データを雨量に換算)で最大 3mm となる時間帯の前後において欠測数も多い傾向が相対的に認められた。しかし、1月30日や2月16日のように、桜島側の天候が雨もしくは曇り一時雨の場合であっても、98%や96%と高い成功率であったケースもあることから、雨量と明瞭な相関があるとは言いがたい。また、1月26日は急遽 JAXA の筑波宇宙センターにて受信されたものであるため、受信環境の違い等が影響した可能性も考えられる。

また、降灰時のデータ伝送について図 15 に示した通り、通信期間中に南東方向の噴火により降灰を明瞭に検知した2月17日19時50分～20時では、6レコード中1レコードしか取得できなかった表 9 もの、データ自体は受信したことを確認できた。このため、噴火中でも ETS-VIII の超小型通信端末によるデータの配信は可能であることが分かった。

次に欠測レコード状況別の統計については、完全欠測ケース 1 によるものが約 88%と一番多く、レコード過多、部分欠測、完全欠測ケース 2 という順番で分布していることが認められた。また、成功率が低い1月26日は、他の日と比べてレコード過多が一番多いことが認められた。

2) 黒神機

基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでの受信成功率は、約98%と非常に高い値が得られた。また、図19(1)を見ると、欠測数・雨量・降灰量の関係に明瞭な相関は認められなかった。

次に欠測レコードの統計については、完全欠測ケース1によるものが約98%と非常に多く、部分欠測、レコード過多に関してはほぼ0%と試験期間通じて良好な通信環境であったといえる。

以上を踏まえ、欠測状況と考察を整理し表13 欠測状況とその考察に示す。欠測原因としては、衛星回線の影響による他、過年度実験と同様、センサと超小型通信端末のインタフェースの問題等が推測される。また、一部では夕方以降、基地局が稼働を終了していないのに、データが受信されていないケースも発生したが、過年度実験と比べると、欠測率は大幅に低下した。

GPSによる時刻同期について、過年度実験と同様、センサ側へのGPSの実装により、時刻のずれによるCRCエラー(受信中、最後の1フレームだけCRCエラーとなるような現象)は解消された。

表 8 伝送実験結果 (有村機)

日付 時間帯	送信 データ総数	受信データ総数				成功率	失敗率			桜島側天候
	A	B	C	D	B/(A-D)	C/(A-D)	D/A	九州技術事務所側天候		
1月15日 9:10 ~ 18:40	58 (348)	55 (197)	2 (145)	1 (6)	96.5% (57.6%)	3.5% (42.4%)	1.7% (1.7%)	晴時々曇一時雨 雨一時曇		
1月16日 10:10 ~ 17:00	42 (252)	41 (167)	1 (85)	0 (0)	97.6% (66.3%)	2.4% (33.7%)	0.0% (0.0%)	晴後一時曇 晴後曇、霧を伴う		
1月19日 9:20 ~ 18:50	58 (348)	54 (203)	3 (139)	1 (6)	94.7% (59.4%)	5.3% (40.6%)	1.7% (1.7%)	晴一時曇 晴		
1月20日 8:50 ~ 18:40	60 (360)	57 (208)	3 (152)	0 (0)	95.0% (57.8%)	5.0% (42.2%)	0.0% (0.0%)	晴 晴一時曇		
1月21日 9:10 ~ 17:40	52 (312)	40 (117)	12 (195)	0 (0)	76.9% (37.5%)	23.1% (62.5%)	0.0% (0.0%)	曇時々雨 曇後雨		
1月25日 9:00~15:30・16:40~0:00	85 (510)	76 (220)	15 (290)	0 (0)	89.4% (43.1%)	17.6% (56.9%)	0.0% (0.0%)	晴時々曇 晴後曇		
1月26日 0:10 ~ 16:50	101 (606)	63 (172)	38 (434)	0 (0)	62.4% (28.4%)	37.6% (71.6%)	0.0% (0.0%)	大雨、雷を伴う 雨後一時曇		
1月27日 9:50 ~ 17:20	46 (276)	46 (200)	0 (76)	0 (0)	100.0% (72.5%)	0.0% (27.5%)	0.0% (0.0%)	晴一時曇 晴後薄曇		
1月28日 9:30 ~ 18:40	56 (336)	47 (114)	9 (222)	0 (0)	83.9% (33.9%)	16.1% (66.1%)	0.0% (0.0%)	曇一時晴 薄曇後晴		
1月29日 9:30 ~ 19:20	60 (360)	53 (153)	7 (207)	0 (0)	88.3% (42.5%)	11.7% (57.5%)	0.0% (0.0%)	雨時々曇一時晴 曇後雨		
1月30日 10:00 ~ 17:50	48 (288)	47 (116)	1 (172)	0 (0)	97.9% (40.3%)	2.1% (59.7%)	0.0% (0.0%)	雨 曇時々雨		
2月2日 9:20 ~ 18:50	58 (348)	51 (165)	7 (183)	0 (0)	87.9% (47.4%)	12.1% (52.6%)	0.0% (0.0%)	曇時々晴 曇		
2月3日 9:00 ~ 20:10	68 (408)	66 (262)	2 (146)	0 (0)	97.1% (64.2%)	2.9% (35.8%)	0.0% (0.0%)	快晴 晴		
2月4日 9:30 ~ 17:50	51 (306)	50 (132)	1 (174)	0 (0)	98.0% (43.1%)	2.0% (56.9%)	0.0% (0.0%)	雨後時々曇 曇時々雨		
2月5日 8:50 ~ 18:20	58 (348)	55 (154)	3 (194)	0 (0)	94.8% (44.3%)	5.2% (55.7%)	0.0% (0.0%)	晴時々曇 曇時々雨一時晴、みぞれを伴う		
2月6日 9:30 ~ 21:20	72 (432)	68 (198)	3 (228)	1 (6)	95.8% (46.5%)	4.2% (53.5%)	1.4% (1.4%)	晴一時曇 晴、霧を伴う		
2月9日 9:40 ~ 20:00	63 (378)	55 (141)	6 (225)	2 (12)	90.2% (38.5%)	9.8% (61.5%)	3.2% (3.2%)	晴一時曇 晴一時曇		
2月10日 9:20 ~ 18:40	57 (342)	51 (139)	6 (203)	0 (0)	89.5% (40.6%)	10.5% (59.4%)	0.0% (0.0%)	晴後曇 曇		
2月12日 9:50 ~ 17:50	49 (294)	46 (135)	3 (159)	0 (0)	93.9% (45.9%)	6.1% (54.1%)	0.0% (0.0%)	雨時々晴一時曇 晴一時曇		
2月13日 9:00 ~ 20:10	68 (408)	62 (208)	6 (200)	0 (0)	91.2% (51.0%)	8.8% (49.0%)	0.0% (0.0%)	晴 晴		
2月16日 7:00 ~ 18:10	68 (408)	65 (266)	3 (142)	0 (0)	95.6% (65.2%)	4.4% (34.8%)	0.0% (0.0%)	曇一時雨 曇一時雨		
2月17日 10:50 ~ 20:50	61 (366)	56 (171)	2 (177)	3 (18)	96.6% (49.1%)	3.4% (50.9%)	4.9% (4.9%)	晴一時曇 晴時々曇		
2月18日 9:20 ~ 19:20	61 (366)	51 (147)	10 (219)	0 (0)	83.6% (40.2%)	16.4% (59.8%)	0.0% (0.0%)	晴時々曇 曇		
2月19日 10:10 ~ 18:00	48 (288)	45 (143)	3 (145)	0 (0)	93.8% (49.7%)	6.3% (50.3%)	0.0% (0.0%)	晴 雨後時々曇一時晴		
2月20日 9:10 ~ 19:30	63 (378)	63 (191)	0 (187)	0 (0)	100.0% (50.5%)	0.0% (49.5%)	0.0% (0.0%)	晴 晴一時曇		
2月23日 9:20 ~ 17:10	48 (288)	45 (138)	3 (150)	0 (0)	93.8% (47.9%)	6.3% (52.1%)	0.0% (0.0%)	曇時々晴 曇後晴		
2月24日 10:50 ~ 20:20	58 (348)	55 (150)	1 (186)	2 (12)	98.2% (44.6%)	1.8% (55.4%)	3.4% (3.4%)	曇 曇後晴		
2月25日 10:30 ~ 19:40	56 (336)	48 (198)	8 (138)	0 (0)	85.7% (58.9%)	14.3% (41.1%)	0.0% (0.0%)	曇一時晴 曇後雨		
2月26日 9:10 ~ 19:50	65 (390)	58 (150)	7 (240)	0 (0)	89.2% (38.5%)	10.8% (61.5%)	0.0% (0.0%)	雨後曇 曇時々雨		
2月27日 9:20 ~ 21:10	72 (432)	61 (156)	3 (228)	8 (48)	95.3% (40.6%)	4.7% (59.4%)	11.1% (11.1%)	晴時々曇 晴後一時曇		
計 301時間40分	1,810 (10,860)	1,630 (5,111)	168 (5,641)	18 (108)	91.0% (47.5%)	9.4% (52.5%)	1.0% (1.0%)			

注; ()内の数字はレコードの統計を示す。

■説明

A (=B+C+D)	基地局稼働時間帯に送信されたデータ数
B	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでに正しく受信されたデータ数
C	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでに正しく受信されなかったデータ数
D	データを最後に取得してから基地局が稼働終了するまでに正しく受信されなかったデータ数
B/(A-D)	Dの条件を考慮しない場合のデータ取得成功率
C/(A-D)	Dの条件を考慮しない場合のデータ取得失敗率
D/A	Dの条件のみ考慮した場合のデータ取得失敗率

(00 赤枠は、相対的に成功率が低い日)

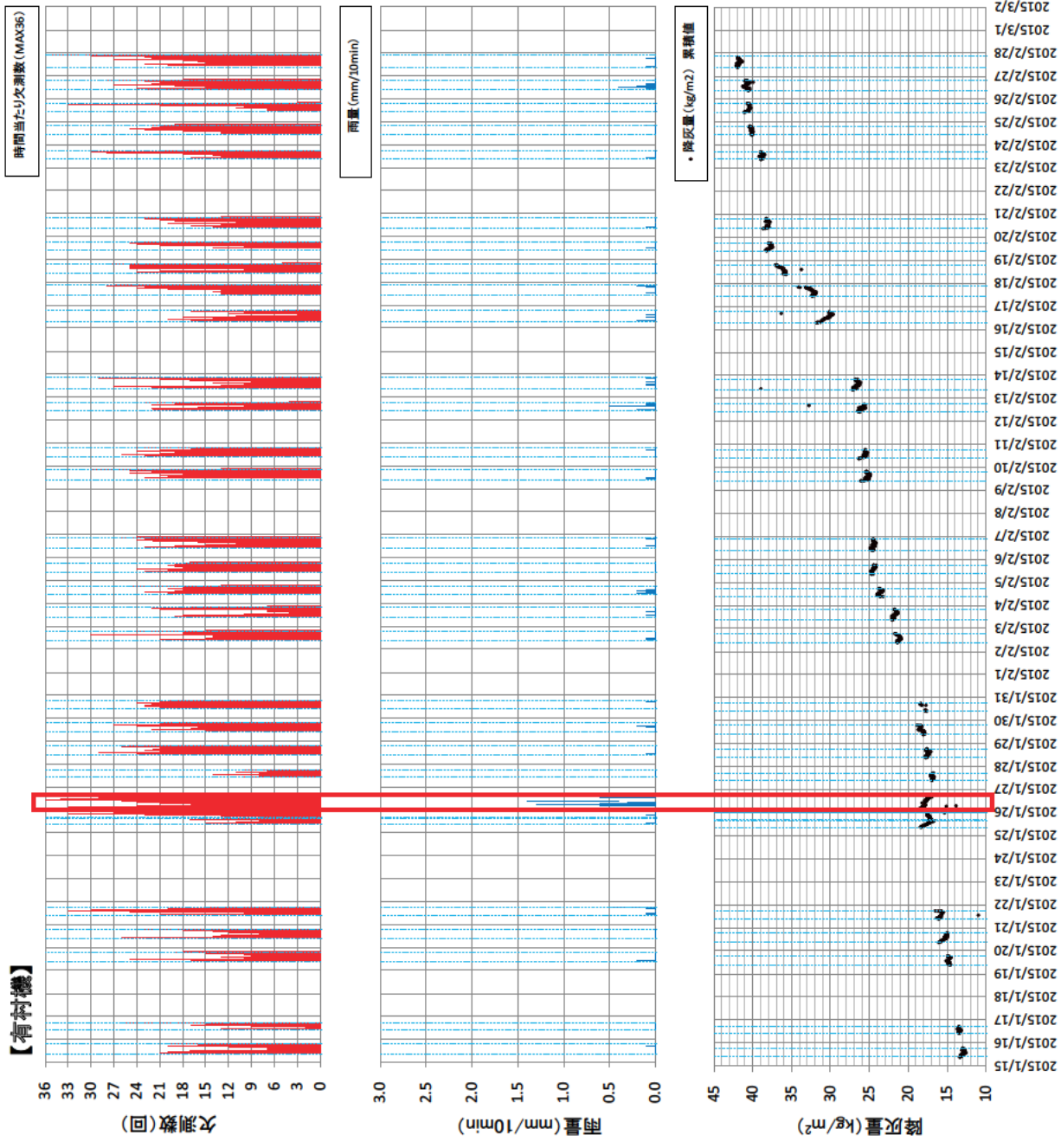


図 18 (1) 伝送実験実施期間中の降灰量と欠測レコード数、雨量との関係 (有村機)

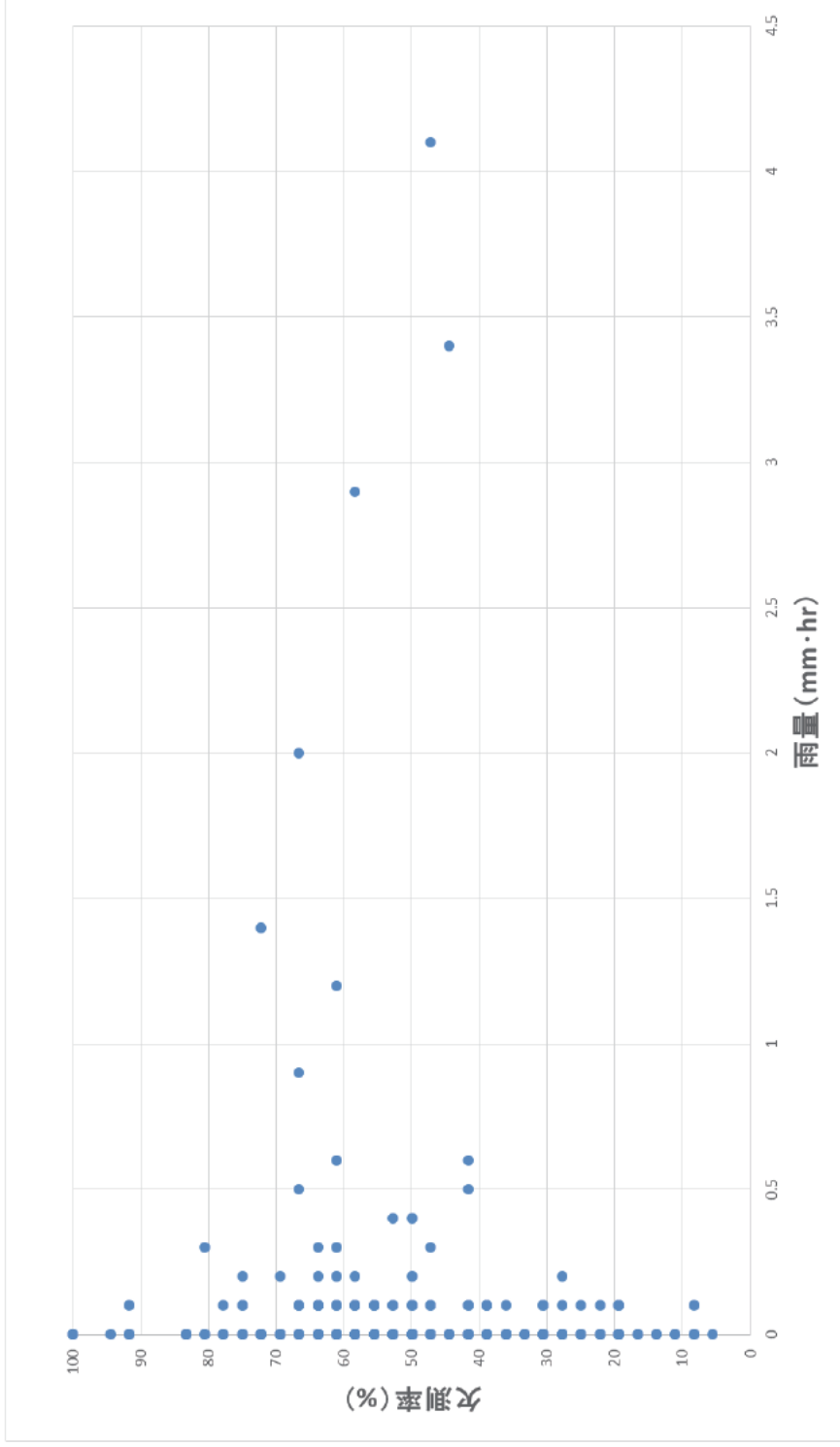


図 18(2) 雨量と欠測率の関係 (有村機)

表 9 平成 27 年 2 月 17 日 19 時～20 時のレコードの内訳

日時	レコード数		欠測の種類(レコード)			
	受信	欠測	完全欠測 ケース1	完全欠測 ケース2	部分欠測	レコード 過多
19 10	1	5	5			
19 20	1	5	5			
19 30	1	5	5			
19 40	1	5	5			
19 50	5	1	1			
20 00	1	5	5			

南東方向への
噴火が確認さ
れた時間帯の
レコード

表 10 欠測レコードの統計 (有村機)

日付 時間帯	欠測レコード総数	完全欠測ケース1	完全欠測ケース2	部分欠測	レコード過多	桜島側天候	
						九州技術事務所側天候	
1月15日 9:10 ~ 18:40	(151)	(139) 92.1 %	(6) 4.0 %	(6) 4.0 %	(0) 0.0 %		晴時々曇一時雨 雨一時曇
1月16日 10:10 ~ 17:00	(85)	(79) 92.9 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(6) 7.1 %		晴後一時曇 晴後曇、霧を伴う
1月19日 9:20 ~ 18:50	(145)	(126) 86.9 %	(6) 4.1 %	(7) 4.8 %	(6) 4.1 %		晴一時曇 晴
1月20日 8:50 ~ 18:40	(152)	(140) 92.1 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(12) 7.9 %		晴 晴一時曇
1月21日 9:10 ~ 17:40	(195)	(144) 73.8 %	(0) 0.0 %	(15) 7.7 %	(36) 18.5 %		曇時々雨 曇後雨
1月25日 9:00~15:30・16:40~0:00	(290)	(275) 94.8 %	(0) 0.0 %	(9) 3.1 %	(6) 2.1 %		晴時々曇 晴後曇
1月26日 0:10 ~ 16:50	(434)	(257) 59.2 %	(0) 0.0 %	(39) 9.0 %	(138) 31.8 %		大雨、雷を伴う 雨後一時曇
1月27日 9:50 ~ 17:20	(76)	(76) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %		晴一時曇 晴後薄曇
1月28日 9:30 ~ 18:40	(222)	(180) 81.1 %	(0) 0.0 %	(6) 2.7 %	(36) 16.2 %		曇一時晴 薄曇後晴
1月29日 9:30 ~ 19:20	(207)	(190) 91.8 %	(0) 0.0 %	(11) 5.3 %	(6) 2.9 %		雨時々曇一時晴 曇後雨
1月30日 10:00 ~ 17:50	(172)	(169) 98.3 %	(0) 0.0 %	(3) 1.7 %	(0) 0.0 %		雨 曇時々雨
2月2日 9:20 ~ 18:50	(183)	(161) 88.0 %	(0) 0.0 %	(4) 2.2 %	(18) 9.8 %		曇時々晴 曇
2月3日 9:00 ~ 20:10	(146)	(135) 92.5 %	(0) 0.0 %	(5) 3.4 %	(6) 4.1 %		快晴 晴
2月4日 9:30 ~ 17:50	(174)	(174) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %		雨後時々曇 曇時々雨
2月5日 8:50 ~ 18:20	(194)	(180) 92.8 %	(0) 0.0 %	(8) 4.1 %	(6) 3.1 %		晴時々曇 曇時々雨一時晴、みぞれを伴う
2月6日 9:30 ~ 21:20	(234)	(222) 94.9 %	(6) 2.6 %	(0) 0.0 %	(6) 2.6 %		晴一時曇 晴、霧を伴う
2月9日 9:40 ~ 20:00	(237)	(209) 88.2 %	(12) 5.1 %	(4) 1.7 %	(12) 5.1 %		晴一時曇 晴一時曇
2月10日 9:20 ~ 18:40	(203)	(180) 88.7 %	(0) 0.0 %	(11) 5.4 %	(12) 5.9 %		晴後曇 曇
2月12日 9:50 ~ 17:50	(159)	(154) 96.9 %	(0) 0.0 %	(5) 3.1 %	(0) 0.0 %		雨時々晴一時曇 晴一時曇
2月13日 9:00 ~ 20:10	(200)	(190) 95.0 %	(0) 0.0 %	(4) 2.0 %	(6) 3.0 %		晴 晴
2月16日 7:00 ~ 18:10	(142)	(132) 93.0 %	(0) 0.0 %	(4) 2.8 %	(6) 4.2 %		曇一時雨 曇一時雨
2月17日 10:50 ~ 20:50	(195)	(171) 87.7 %	(18) 9.2 %	(0) 0.0 %	(6) 3.1 %		晴一時曇 晴時々曇
2月18日 9:20 ~ 19:20	(219)	(183) 83.6 %	(0) 0.0 %	(12) 5.5 %	(24) 11.0 %		晴時々曇 曇
2月19日 10:10 ~ 18:00	(145)	(145) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %		晴 雨後時々曇一時晴
2月20日 9:10 ~ 19:30	(187)	(187) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %		晴 晴一時曇
2月23日 9:20 ~ 17:10	(150)	(140) 93.3 %	(0) 0.0 %	(10) 6.7 %	(0) 0.0 %		曇時々晴 曇後晴
2月24日 10:50 ~ 20:20	(198)	(186) 93.9 %	(12) 6.1 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %		曇 曇後晴
2月25日 10:30 ~ 19:40	(138)	(101) 73.2 %	(0) 0.0 %	(13) 9.4 %	(24) 17.4 %		曇一時晴 曇後雨
2月26日 9:10 ~ 19:50	(240)	(227) 94.6 %	(0) 0.0 %	(7) 2.9 %	(6) 2.5 %		雨後曇 曇時々雨
2月27日 9:20 ~ 21:10	(276)	(222) 80.4 %	(48) 17.4 %	(0) 0.0 %	(6) 2.2 %		晴時々曇 晴後一時曇
計 301時間40分	(5,749)	(5,074) 88.3 %	(108) 1.9 %	(183) 3.2 %	(384) 6.7 %		

注: ()内の数字はレコード数を示す。

■説明

完全欠測ケース1	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでにデータ自体が全く受信されなかったもの
完全欠測ケース2	データを最後に取得してから基地局が稼働終了するまでに受信されなかったもの
部分欠測	データは受信されたが、日付の一部、計測データの一部が欠測しているもの
レコード過多	データは受信されたが、レコードが7以上受信され、かつ部分欠測であるもの

(赤枠は、相対的に成功率が低い日)

表 11 伝送実験結果（黒神機）

日付 時間帯	送信 データ総数	受信データ総数				成功率	失敗率		桜島側天候
	A	B	C	D	B/(A-D)	C/(A-D)	D/A	九州技術事務所側天候	
1月15日 9:10 ~ 18:40	58 (348)	56 (172)	2 (176)	0 (0)	96.6% (49.4%)	3.4% (50.6%)	0.0% (0.0%)	晴時々曇一時雨 雨一時曇	
1月16日 10:10 ~ 17:00	42 (252)	42 (141)	0 (111)	0 (0)	100.0% (56.0%)	0.0% (44.0%)	0.0% (0.0%)	晴後一時曇 晴後曇、霧を伴う	
1月19日 9:20 ~ 18:50	58 (348)	56 (205)	2 (143)	0 (0)	96.6% (58.9%)	3.4% (41.1%)	0.0% (0.0%)	晴一時曇 晴	
1月20日 8:50 ~ 18:40	60 (360)	60 (161)	0 (199)	0 (0)	100.0% (44.7%)	0.0% (55.3%)	0.0% (0.0%)	晴 晴一時曇	
1月21日 9:10 ~ 17:40	52 (312)	52 (192)	0 (120)	0 (0)	100.0% (61.5%)	0.0% (38.5%)	0.0% (0.0%)	曇時々雨 曇後雨	
1月25日 9:00~15:30・16:40~0:00	85 (510)	82 (200)	9 (310)	0 (0)	96.5% (39.2%)	10.6% (60.8%)	0.0% (0.0%)	晴時々曇 晴後曇	
1月26日 0:10 ~ 16:50	101 (606)	101 (346)	0 (260)	0 (0)	100.0% (57.1%)	0.0% (42.9%)	0.0% (0.0%)	大雨、雷を伴う 雨後一時曇	
1月27日 9:50 ~ 17:20	46 (276)	44 (163)	2 (113)	0 (0)	95.7% (59.1%)	4.3% (40.9%)	0.0% (0.0%)	晴一時曇 晴後薄曇	
1月28日 9:30 ~ 18:40	56 (336)	55 (174)	1 (162)	0 (0)	98.2% (51.8%)	1.8% (48.2%)	0.0% (0.0%)	曇一時晴 薄曇後晴	
1月29日 9:30 ~ 19:20	60 (360)	57 (155)	2 (199)	1 (6)	96.6% (43.8%)	3.4% (56.2%)	1.7% (1.7%)	雨時々曇一時晴 曇後雨	
1月30日 10:00 ~ 17:50	48 (288)	45 (139)	3 (149)	0 (0)	93.8% (48.3%)	6.3% (51.7%)	0.0% (0.0%)	雨 曇時々雨	
2月2日 9:20 ~ 18:50	58 (348)	57 (199)	1 (149)	0 (0)	98.3% (57.2%)	1.7% (42.8%)	0.0% (0.0%)	曇時々晴 曇	
2月3日 9:00 ~ 20:10	68 (408)	64 (221)	4 (187)	0 (0)	94.1% (54.2%)	5.9% (45.8%)	0.0% (0.0%)	快晴 晴	
2月4日 9:30 ~ 17:50	51 (306)	49 (126)	2 (180)	0 (0)	96.1% (41.2%)	3.9% (58.8%)	0.0% (0.0%)	雨後時々曇 曇時々雨	
2月5日 8:50 ~ 18:20	58 (348)	57 (152)	1 (196)	0 (0)	98.3% (43.7%)	1.7% (56.3%)	0.0% (0.0%)	晴時々曇 曇時々雨一時晴、みぞれを伴う	
2月6日 9:30 ~ 21:20	72 (432)	67 (235)	4 (191)	1 (6)	94.4% (55.2%)	5.6% (44.8%)	1.4% (1.4%)	晴一時曇 晴、霧を伴う	
2月9日 9:40 ~ 20:00	63 (378)	59 (151)	4 (227)	0 (0)	93.7% (39.9%)	6.3% (60.1%)	0.0% (0.0%)	晴一時曇 晴一時曇	
2月10日 9:20 ~ 18:40	57 (342)	57 (199)	0 (143)	0 (0)	100.0% (58.2%)	0.0% (41.8%)	0.0% (0.0%)	晴後曇 曇	
2月12日 9:50 ~ 17:50	49 (294)	48 (159)	1 (135)	0 (0)	98.0% (54.1%)	2.0% (45.9%)	0.0% (0.0%)	雨時々晴一時曇 晴一時曇	
2月13日 9:00 ~ 20:10	68 (408)	67 (219)	1 (189)	0 (0)	98.5% (53.7%)	1.5% (46.3%)	0.0% (0.0%)	晴 晴	
2月16日 7:00 ~ 18:10	68 (408)	67 (238)	1 (170)	0 (0)	98.5% (58.3%)	1.5% (41.7%)	0.0% (0.0%)	曇一時雨 曇一時雨	
2月17日 10:50 ~ 20:50	61 (366)	57 (153)	1 (195)	3 (18)	98.3% (44.0%)	1.7% (56.0%)	4.9% (4.9%)	晴一時曇 晴時々曇	
2月18日 9:20 ~ 19:20	61 (366)	60 (182)	1 (184)	0 (0)	98.4% (49.7%)	1.6% (50.3%)	0.0% (0.0%)	晴時々曇 曇	
2月19日 10:10 ~ 18:00	48 (288)	47 (168)	1 (120)	0 (0)	97.9% (58.3%)	2.1% (41.7%)	0.0% (0.0%)	晴 雨後時々曇一時晴	
2月20日 9:10 ~ 19:30	63 (378)	63 (202)	0 (176)	0 (0)	100.0% (53.4%)	0.0% (46.6%)	0.0% (0.0%)	晴 晴一時曇	
2月23日 9:20 ~ 17:10	48 (288)	48 (162)	0 (126)	0 (0)	100.0% (56.3%)	0.0% (43.8%)	0.0% (0.0%)	曇時々晴 曇後晴	
2月24日 10:50 ~ 20:20	58 (348)	56 (182)	0 (154)	2 (12)	100.0% (54.2%)	0.0% (45.8%)	3.4% (3.4%)	曇 曇後晴	
2月25日 10:30 ~ 19:40	56 (336)	53 (196)	2 (134)	1 (6)	96.4% (59.4%)	3.6% (40.6%)	1.8% (1.8%)	曇一時晴 曇後雨	
2月26日 9:10 ~ 19:50	65 (390)	64 (214)	0 (170)	1 (6)	100.0% (55.7%)	0.0% (44.3%)	1.5% (1.5%)	雨後曇 曇時々雨	
2月27日 9:20 ~ 21:10	72 (432)	57 (168)	4 (198)	11 (66)	93.4% (45.9%)	6.6% (54.1%)	15.3% (15.3%)	晴時々曇 晴後一時曇	
計 301時間40分	1,810 (10,860)	1,747 (5,574)	49 (5,166)	20 (120)	97.6% (51.9%)	2.7% (48.1%)	1.1% (1.1%)		

注：（）内の数字はレコードの統計を示す。

■説明

A (=B+C+D)	基地局稼働時間帯に送信されたデータ数
B	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでに正しく受信されたデータ数
C	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでに正しく受信されなかったデータ数
D	データを最後に取得してから基地局が稼働終了するまでに正しく受信されなかったデータ数
B/(A-D)	Dの条件を考慮しない場合のデータ取得成功率
C/(A-D)	Dの条件を考慮しない場合のデータ取得失敗率
D/A	Dの条件のみ考慮した場合のデータ取得失敗率

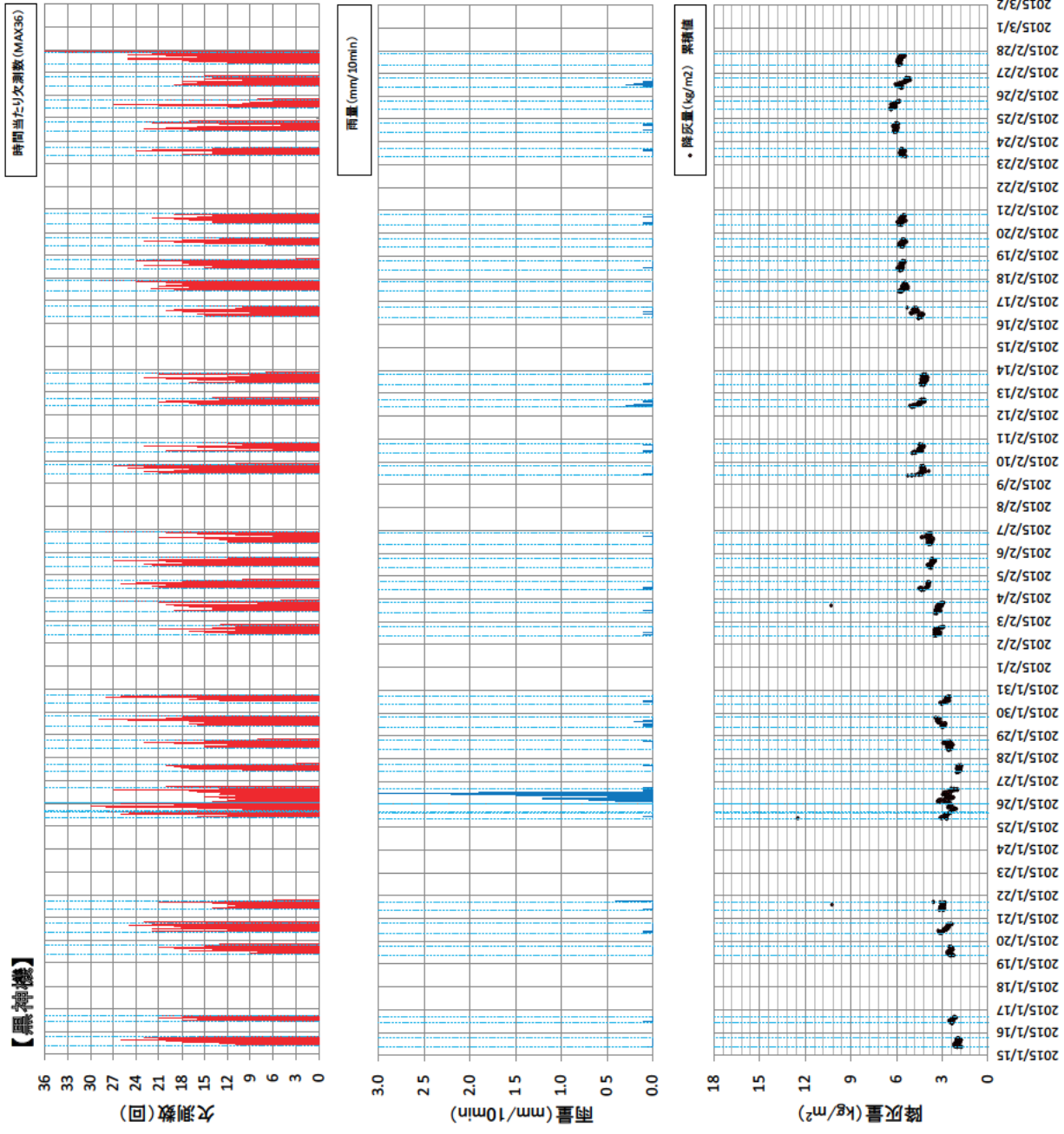


図 19(1) 伝送実験実施期間中の降灰量と欠測レコード数、雨量との関係 (黒神機)

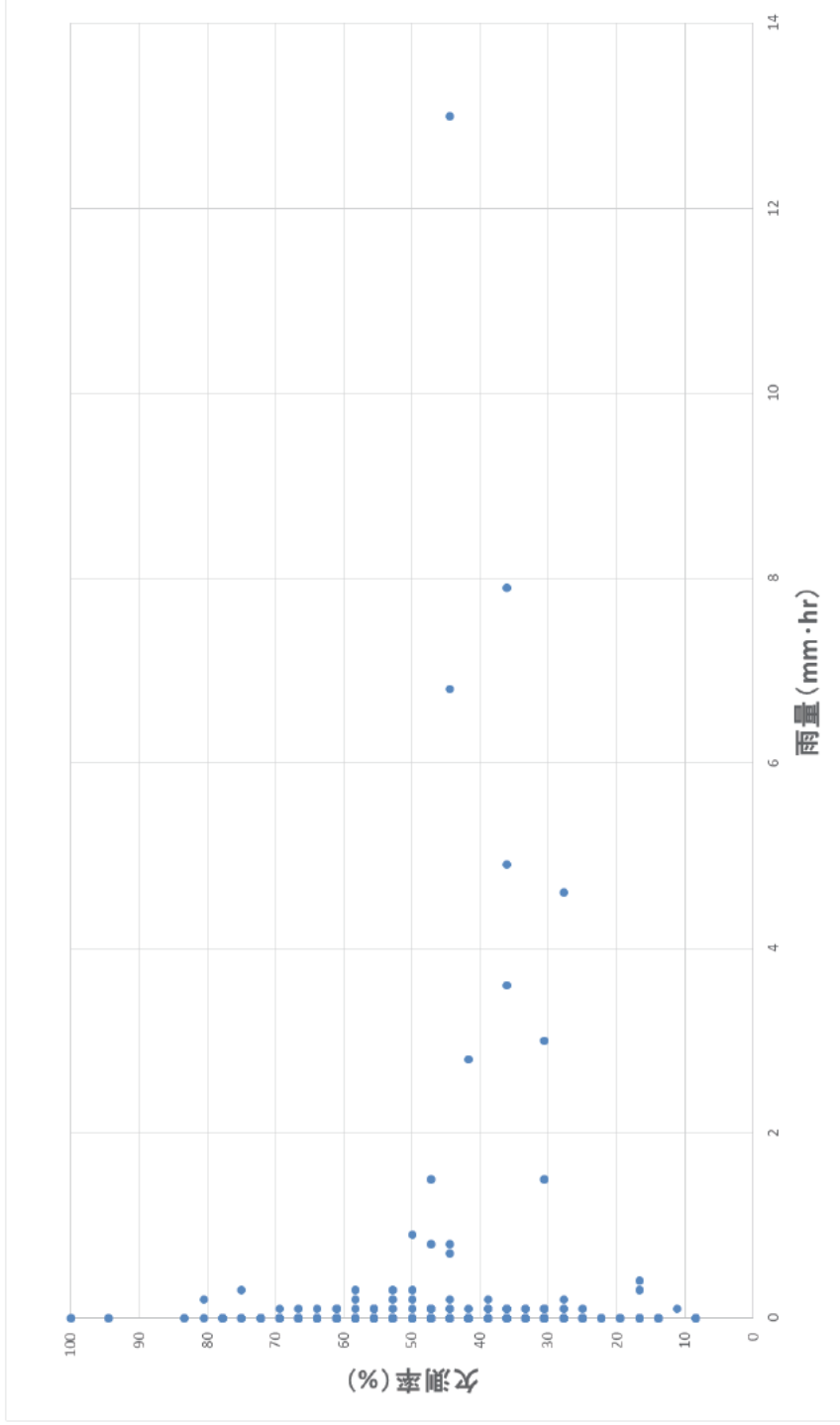


図 19(2) 雨量と欠測率の関係 (黒神機)

表 12 欠測レコードの統計（黒神機）

日付 時間帯	欠測レコード総数	完全欠測ケース1	完全欠測ケース2	部分欠測	レコード過多	桜島側天候	
						九州技術事務所側天候	
1月15日 9:10 ~ 18:40	(176)	(176) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴時々曇一時雨 雨一時曇	
1月16日 10:10 ~ 17:00	(111)	(111) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴後一時曇 晴後曇、霧を伴う	
1月19日 9:20 ~ 18:50	(143)	(143) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴一時曇 晴	
1月20日 8:50 ~ 18:40	(199)	(199) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴 晴一時曇	
1月21日 9:10 ~ 17:40	(120)	(120) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	曇時々雨 曇後雨	
1月25日 9:00~15:30・16:40~0:00	(310)	(310) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴時々曇 晴後曇	
1月26日 0:10 ~ 16:50	(260)	(260) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	大雨、雷を伴う 雨後一時曇	
1月27日 9:50 ~ 17:20	(113)	(113) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴一時曇 晴後薄曇	
1月28日 9:30 ~ 18:40	(162)	(162) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	曇一時晴 薄曇後晴	
1月29日 9:30 ~ 19:20	(205)	(199) 97.1 %	(6) 2.9 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	雨時々曇一時晴 曇後雨	
1月30日 10:00 ~ 17:50	(149)	(149) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	雨 曇時々雨	
2月2日 9:20 ~ 18:50	(149)	(146) 98.0 %	(0) 0.0 %	(3) 2.0 %	(0) 0.0 %	曇時々晴 曇	
2月3日 9:00 ~ 20:10	(187)	(187) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	快晴 晴	
2月4日 9:30 ~ 17:50	(180)	(180) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	雨後時々曇 曇時々雨	
2月5日 8:50 ~ 18:20	(196)	(196) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴時々曇 曇時々雨一時晴、みぞれを伴う	
2月6日 9:30 ~ 21:20	(197)	(191) 97.0 %	(6) 3.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴一時曇 晴、霧を伴う	
2月9日 9:40 ~ 20:00	(227)	(221) 97.4 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(6) 2.6 %	晴一時曇 晴一時曇	
2月10日 9:20 ~ 18:40	(143)	(143) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴後曇 曇	
2月12日 9:50 ~ 17:50	(135)	(135) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	雨時々晴一時曇 晴一時曇	
2月13日 9:00 ~ 20:10	(189)	(189) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴 晴	
2月16日 7:00 ~ 18:10	(170)	(170) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	曇一時雨 曇一時雨	
2月17日 10:50 ~ 20:50	(213)	(195) 91.5 %	(18) 8.5 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴一時曇 晴時々曇	
2月18日 9:20 ~ 19:20	(184)	(184) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴時々曇 曇	
2月19日 10:10 ~ 18:00	(120)	(120) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴 雨後時々曇一時晴	
2月20日 9:10 ~ 19:30	(176)	(176) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴 晴一時曇	
2月23日 9:20 ~ 17:10	(126)	(126) 100.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	曇時々晴 曇後晴	
2月24日 10:50 ~ 20:20	(166)	(154) 92.8 %	(12) 7.2 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	曇 曇後晴	
2月25日 10:30 ~ 19:40	(140)	(134) 95.7 %	(6) 4.3 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	曇一時晴 曇後雨	
2月26日 9:10 ~ 19:50	(176)	(170) 96.6 %	(6) 3.4 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	雨後曇 曇時々雨	
2月27日 9:20 ~ 21:10	(264)	(198) 75.0 %	(66) 25.0 %	(0) 0.0 %	(0) 0.0 %	晴時々曇 晴後一時曇	
計 301時間40分	(5,286)	(5,157) 97.6 %	(120) 2.3 %	(3) 0.1 %	(6) 0.1 %		

注：（ ）内の数字はレコード数を示す。

■説明

完全欠測ケース1	基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでにデータ自体が全く受信されなかったもの
完全欠測ケース2	データを最後に取得してから基地局が稼働終了するまでに受信されなかったもの
部分欠測	データは受信されたが、日付の一部、計測データの一部が欠測しているもの
レコード過多	データは受信されたが、レコードが7以上受信され、かつ部分欠測であるもの

表 13 欠測状況とその考察

状 況	考 察	失敗率 (表 8、表 11 と対 応)
(1) 完全欠測ケース1		
12 フレームのうち、途中の幾つかのフレームに CRC エラーが発生し、正常に受信できていないケースが多い。	CRCエラーの発生は、衛星回線の影響による。	C/(A-D)*
(2) 完全欠測ケース2		
夕方以降、基地局が稼働を終了していないのに、データが受信されなくなる。	原因は未だ不明である。少なくともセンサ側のバッテリーの電圧は正常であるため、電源の問題ではないと考えられる。 また、平成25年度実験時と比べて大幅に低下した。 ■全欠測に対する完全欠測ケース2の占める割合 《有村機》 平成25年度：8.8% 平成26年度：1.0%	D/A
(3) 部分欠測		
CRC エラーはほとんど発生していないが、日時やデータに抜けが認められる。	CRCエラーが発生していないことから衛星回線が原因ではなく、センサと超小型通信端末間のインタフェースの問題もしくは超小型通信端末の内部処理の問題であると推測される。 なお、今回はセンサ内のデータロガーに超小型通信端末へ送出したデータを蓄積する機能を設けたが、部分欠測のあるデータは認められず、送出データは正常であった可能性が高い。	C/(A-D)*
(4) レコード過多		
通常 2 フレームで 1 レコード生成されるが、1 フレームで 1 レコード生成されている。しかし、日時に抜けが認められる。	センサと超小型通信端末間のインタフェースの問題もしくは、超小型通信端末の内部処理の問題であると推測される。 (3)と同様、送出データには異常はないと考えられる。	C/(A-D)*

* ただし、Cは、(1)、(3) および (4) の原因によって分解できる。分解後の失敗率について表 10、表 12 に整理した。

7. 実災害時の対応を想定した現地伝送実験の結果

7.1. 自動降灰・降雨量計の設置訓練

7.1.1. 設置訓練の目的

設置訓練の目的は以下のとおりである。

- 1) 組み立て、設置、計測、データ伝送の一連の流れを実施し、問題なく進められるかどうかを確認するとともに、作業手順および各作業に要した時間や人数を把握する。
- 2) ETS-VIII衛星回線に関する受信率の計測を実施する。
- 3) 自動降灰量・降雨量計のデータ伝送に関する「1時間に1回以上のデータ転送が出来ること」という要求を満足できることを確認する。

7.1.2. 設置訓練の位置

平成27年10月19日に北海道樽前山覚生川遊砂池に試験設置されている自動降灰・降雨量計を一度解体し、実災害時の対応を想定した設置訓練を行った。設置位置は図20のとおりである。

- (1) 基地局（受信局）：白老（しらおい）町消防本部（樽前山火山対策防災拠点施設）

住 所：北海道白老郡白老町石山20-24

電話番号：0144-83-1119

- (2) 自動降灰・降雨量計（送信局）：樽前山覚生（おぼっふ）川

北緯42度41分26秒、東経141度22分36秒

樽前山は、北海道南西部にある支笏湖の南側、苫小牧市と千歳市にまたがる活火山。標高は最高点の樽前ドームで1,041mである。

7.1.1. 設置訓練の日程

設置訓練を下記の日程で行った。自動降灰・降雨量計設置班は北海道開発局および土木研究所、基地局設置班はJAXA でそれぞれ分かれて並行して作業を実施した。

表 14 設置訓練の日程

年月日	送信局側	受信局側	備考
平成 27 年 10 月 19 日	— (現地試験設置中)	運搬 (AM9 時輸送業者 より)	
	自動降灰・降雨量計の 試験設置状況の確認	基地局の据付箇所の 確認	
	自動降灰・降雨量計の 解体作業	基地局の据付作業 (設置訓練)	
	自動降灰・降雨量計の 組立・据付作業 (設置訓練)	↓	自動降灰・降雨量計は 簡易据付
	ETS-VIIIデータ伝送 実験機材の据付作業 (設置訓練)	↓	ETS-VIIIデータ伝送 実験機材は一部簡易 据付
	事前データ伝送実験		
平成 27 年 10 月 20 日	データ伝送実験		送受信局間 各担当調整

7.1.2. 基地局の設置

自動降灰・降雨量計データを受信するための基地局の設置訓練を行った。図 21～図 23 に各状況を示す。



図 21 樽前山火山対策防災拠点施設屋上 樽前山撮影



図 22 樽前山火山対策防災拠点施設屋上 機材搬入



図 23 樽前山火山対策防災拠点施設屋上 基地局設営

7.1.3. 自動降灰・降雨量計の解体

図 24、図 25 に示すとおり、試験設置中の自動降灰・降雨量計を解体した。解体は出発地（設置箇所へ一番近付ける車両が停車できる位置）から人力により背負子等で設置位置まで運搬を行い、荷下ろした時点の状態という想定で実施した。



図 24 分解作業状況



図 25 解体した自動降灰・降雨量計

7.1.4. 自動降灰・降雨量計の設置

自動降灰量計を解体後、自動降灰量計の設置訓練を行った。その際、各作業にかかる時間を計測した。作業状況、設置状況を図 26～図 35 に示す。



図 26 組み立て作業状況 (その1)



図 27 組み立て作業状況 (その2)



図 28 配線作業状況



図 29 プログラム書き換え作業状況



図 30 超小型通信端末固定用三脚の設置作業状況



図 31 超小型通信端末との接続作業状況



図 32 超小型通信端末の状況（その1）

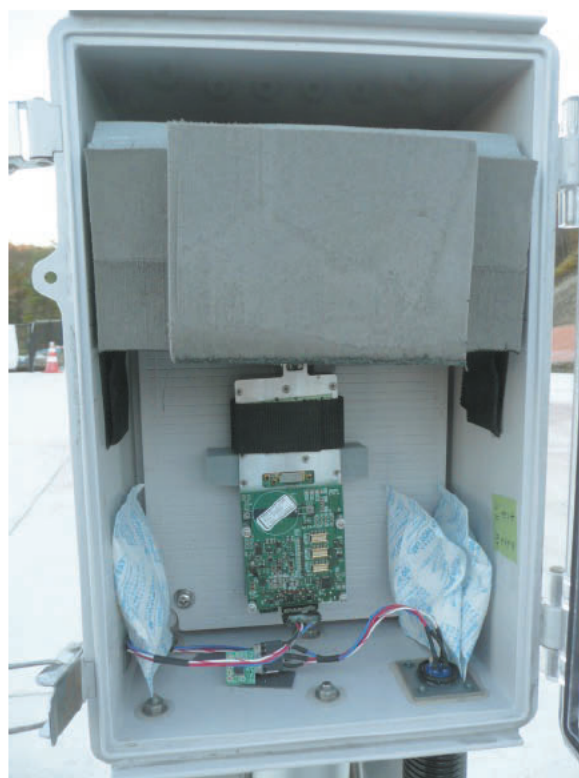


図 33 超小型通信端末の状況（その2）



図 34 設置完了状況 (近景)



図 35 設置完了状況 (遠景)

7.2. ETS-VIIIによる自動降灰・降雨量計データ伝送に関する作業手順の整理

(1) 整理条件

設置訓練により実施された作業やその作業に要した時間と人数について整理した。整理条件は以下のとおりとした。

- 1) 本整理は、ETS-VIIIの超小型通信端末を用いた自動降灰・降雨量計の降灰量データ伝送に適用する。
- 2) 自動降灰・降雨量計のタイプは、ソーラー・バッテリー、FOMA回線方式の小型自動降灰量計（非寒冷地仕様）とする。
- 3) 作業手順の範囲は、自動降灰量計を現地へ運搬してから職員が降灰量データを確認するまでとする。
- 4) 設置訓練では行われなかったが必要であると考えられる作業については、作業手順の中に推定される作業時間と作業人数と合わせて整理する。

(2) 作業手順等の整理

2015年10月19日～21日に実施された自動降灰量計の設置訓練を踏まえた作業手順の整理結果を表15に示す。同表には設置訓練時に得られた課題等も踏まえて留意事項も合わせて示した。

本訓練および訓練で実施されなかった機器の検定作業等も考慮すると、組み立て、設置、計測、データ伝送までの一連の作業に要する時間は、送信局側は最低要員4人で2～3時間程度、受信局側は最低要員2人で1.5時間程度となり、迅速に作業を行うことが出来ることを確認した。

表 15 作業手順の整理結果

送信局				
No.	作業項目	主な作業内容	作業時間(分)	作業人数
1	降反量計の運搬	車による運搬 もしくは 車十人肩による運搬	-	1
2	降反量計の設置調整	・降反量計の設置(重しで固定する程度) ・降反量計の組立 ・降反量計の水平調整 ・補反容器内への加水	20	4
3	きく8号用機器の取付・配線作業等	・DC/DCコンバータ取付 ・取納庫の変更 ・ハンテラ/ケーブリング交換 ・GPS取付 ・ケーブリング養生	35	2
4	超小型通信端末取付・調整	超小型通信端末取付・調整	20	2
5	プログラム書き換え・作動確認	・データロガーの制御プログラムの書き換え ・作動確認	30	2
6	ロードセル、水位等の検定	ロードセル、水位の簡易な精度確認、自動排水確認	30 (推定)	3 (推定)
7	通信試験	毎10分のデータの送受信状況を2回確認した場合	30	2
設置時間/養生作業				
運搬を除き、きく8号用超小型通信端末を利用した自動降反量計の設置・調整作業は、最低4人で2~3時間程度であった。				
No.	作業項目	主な作業内容	作業時間(分)	作業人数
1	受信機材の運搬	車十人肩もしくは台車等による運搬	-	1
2	基地局の組上げ	・MODEM, U/D, HPA, アンテナの設置 ・MODEM, U/D, HPA, アンテナの接続作業	60	2
3	稼働確認	・信号強度の確認 ・C/N0測定(通信品質確認)	-	2
4	通信試験	毎10分のデータの送受信状況を2回確認した場合	30	2
5	職員によるデータの確認	受信データを降反量に換算、図化	-	1
設置時間/養生作業				
運搬を除き、きく8号用基地局の設置・調整作業は、最低2人で1~2時間程度であった。				

留意事項

※1 作業時間は、運搬場所がその都度異なるため、変動する。
 (1) 車で直接運搬できる場合: 車で直接運搬に所要時間(4人)
 (2) 車で直接運搬できない場合: 車で直接運搬+駐車位置から現場までの運搬時間(8人) → 人員運搬必要
 ※2 人員による運搬の場合は、降反量計を分解して搬送する必要がある。なお、参考として設置訓練前の分解作業は、40分程度要した。

※1 降反量計の設置箇所は、「地盤」「コンクリート」「専用乗台(のいずれか)である。設置訓練では簡易な固定としたが、実際にならしに10分~20分程度かかるものとする。
 ※2 車で直接運搬可能な場合、運搬に伴う分解が不要もしくは最小限にとどめられ、組立作業時間が10分程度短縮できるものとする。

※1 車で直接運搬できない場合、機器収納部内に組み込まれた機器類を取り外す場合は考慮される。その場合、その組立作業が完了し、さらに20分程度かかるものとする。
 ※2 車で直接運搬できる場合、DC/DCコンバータ取付、取納庫の変更は予め実施することが可能であるため、10分程度短縮できるものとする。
 ※3 現地での配線作業時間の短縮のため、事前に可能な部分の配線を行っておく。
 ※4 取納庫は予め製作して搬送しておくことが望ましい。
 ※5 配線作業は、専門技術者1人が必要である。
 ※6 万一、現場で資材不足が判明した場合は、現地調達が必要となりその分の時間を要する。

※ 超小型通信端末の取付乗台は、設置訓練では簡易な固定としたが、地盤への設置の際は単管による固定が基本となる。

※ 制御プログラムは事前に書き換えられておく必要があるが、設置訓練時はプログラムの修正が発生し、10分程度タイムロスとなった。本書でもこのような作業の発生を想定しておく必要がある。

※1 今回の設置訓練では実施していないが、運転時に機器が故障してしまうリスクもあるため、ロードセルと水位の感度確認および電動バルブの自動排水確認が必要である。
 (1) ロードセルは、事前に重さが分かっている粉分等を載せて、計測値の増加量と比較して確認する。
 (2) 水位計は、加水前の水位の差を把握した上で、加水後の水位の差と計測値と計測値を把握し、差と計測値と計測値の変化量を比較して確認する。
 (3) 水位を常水位調整値まで上げて、電動バルブが開き、排水が行われるか確認する。
 ※2 機器に故障が発生した場合、ロードセルや水位計等の機器の書き換えを行っておくことが望ましい。

※ 問題なくデータの送受信が行われれば2回程度でよいが、設置環境によって通信状況は変わることが予想され、通信試験の作業時間は変動する。

受信局

留意事項

※1 作業時間は、運搬場所がその都度異なるため、変動する。
 ※2 参考として、設置訓練時は、輸送トラックから基地局を配置する防災拠点施設の上への荷上げは、9人で15分程度時間を要した。

※1 アンテナが風で揺らされ、アジマスが少しずつ動く事象が発生したため、ネジ締めをしっかりと行う必要がある。
 ※2 積雪地域の冬季運用では、積雪・積氷対策が必要である。

※1 衛星移動により信号強度劣化が大きかったことから、アンテナ指向調整の頻度を(回/日から2回/日以上)に運搬変更が必要がある。
 ※2 自動降反量計より基地局の設置の方が早く終了すると予想され、自動降反量計の通信準備が完了するまでの間に稼働確認が実施されることが予想される。
 ※3 選中衛星の起動が滞ることがあるため、自動では手動による調整が必要である。

※ 問題なくデータの送受信が行われれば2回程度でよいが、設置環境によって通信状況は変わることが予想され、通信試験の作業時間は変動する。

※1 通信試験と同時に並行して進めると考えられ、作業時間は通信試験の時間内と想定される。
 ※2 受信データをExcel等の表計算ソフトに取り付ける自動的降反量のグラフを表示できるように組み合わせておくことが重要である。

7.3. データ項目と通信時間

自動降灰・降雨量計内部のデータロガーから超小型通信端末へ送出するデータ項目は、過年度報告書と同様に「時間（年月日時分）」・「水位（cm）」・「重量（kgf）」の3項目を予定していたが、設置訓練時にロードセルの不良により重量データが観測できなかったため、「重量（kgf）」の代わりに「ロードセル付近の温度（℃）」に変更した。これらの計測データは、毎正10分の1分前からの10秒計測に基づく1分間平均値である。

また、超小型通信端末の通信時間についても過年度報告書と同様に下表のとおりとした。

表 16 通信時間の比較

項目	通信時間
超小型通信端末の通信 1 回あたりの通信継続時間	100 秒
超小型通信端末の電源起動間隔	10 分

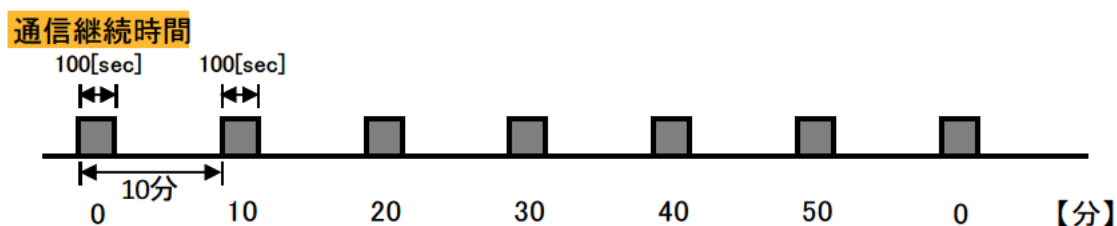


図 36 通信継続時間の模式図

7.4. 現地伝送実験結果

現地伝送実験は、平成 27 年 10 月 20 日に実施した。以下に、自動降灰・降雨量計に実装された超小型通信端末からの送信から基地局での受信までの流れを示す。

「時間（年月日時分）」・「水位（cm）」・「ロードセル付近の温度（℃）」の3項目からなる送信データは、超小型通信端末内で1回に送ることが可能なデータ量に分割される。この時、1回に送ることが可能なデータ単位を「フレーム」という。本訓練では、送信データは2フレームに分割される。フレームは超小型通信端末により約4秒毎に1フレームずつ伝送され、基地局で受信される。2フレーム連続で受信できた場合には統合され、受信データが生成される。この時2つのフレームが統合されて生成されたデータ単位を「レコード」という。なお、2フレームのうち1フレームでも未受信または、2フレームのデータを連続で受信出来なかった場合には該当するレコードは生成されない。

本訓練では、データの受信率を上げるため、通信継続時間（100 秒）のうち超小型通信端末と基地局が同期する時間等を除いた約 50 秒間でフレームが 11~12 回送信されるようにした。そのため、レコードは最大 6 個生成されることになる。これらのレコードは送信データそのものであるため、レコードが 1 個以上生成されれば、送信データを取得できたと評価される。

なお、超小型通信端末は、通信試験中は常に 10 分間隔でフレームを送信するようになっている。

したがって、基地局側は電源を起動していればいつでも 10 分間隔でフレームを受信することが出来る。本訓練の実施時間は、8:20~16:00 である。

図 37 にレコード生成イメージを、図 38 には、送信側と受信側の電源 ON/OFF の関係を示す。

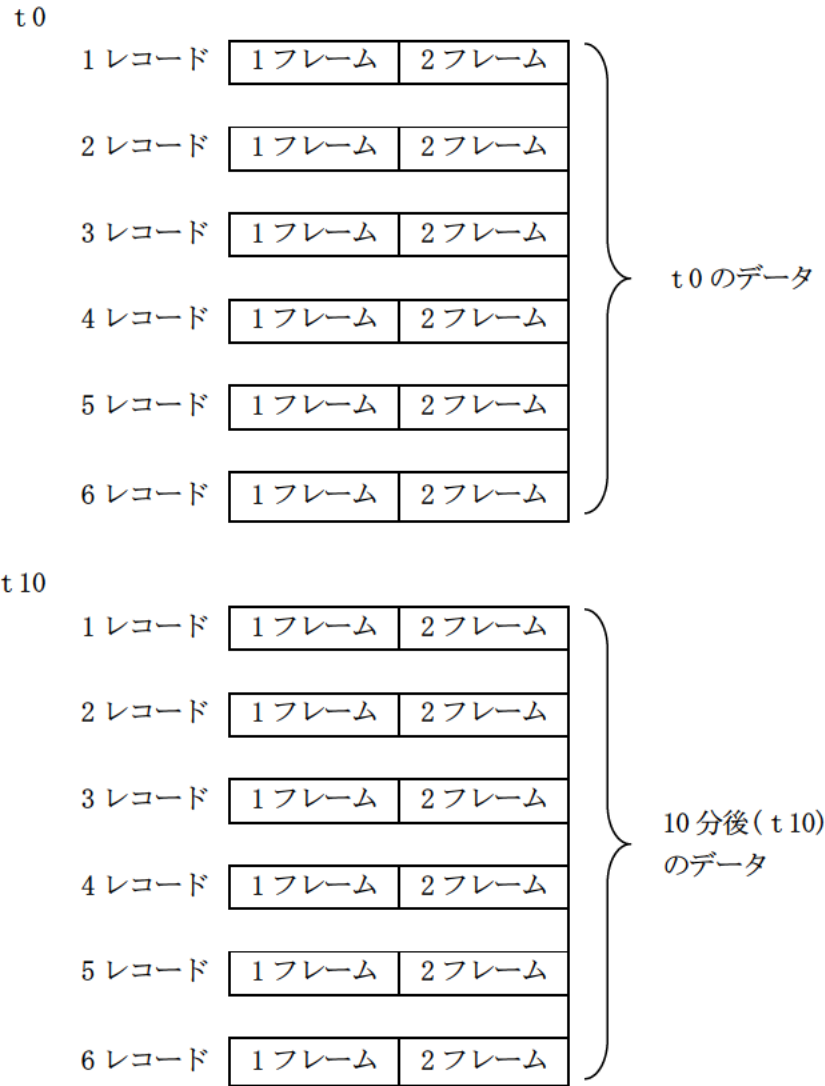


図 37 レコード生成イメージ

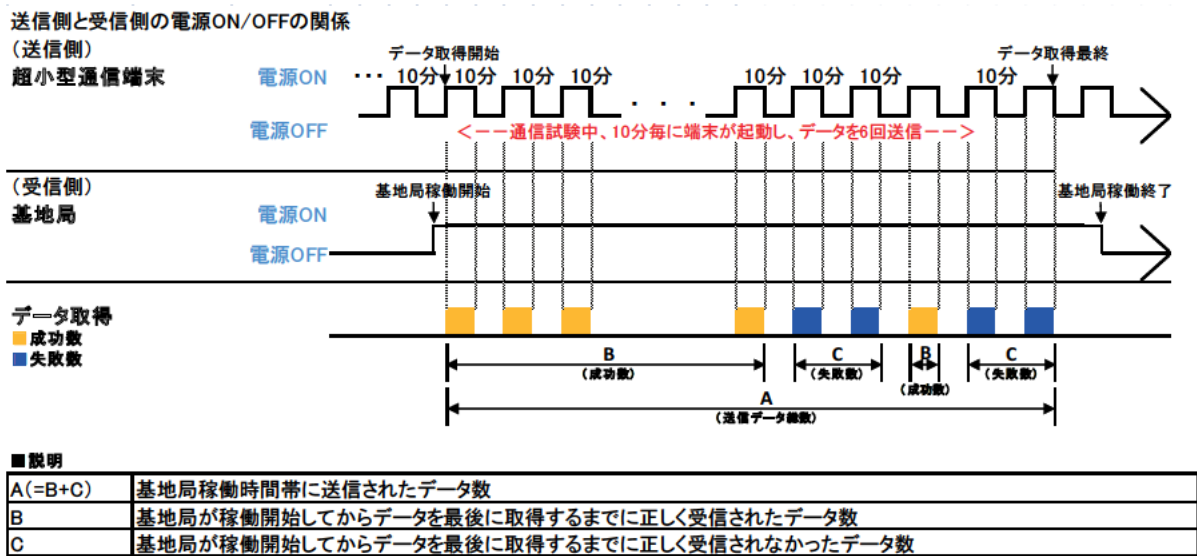


図 38 送信側と受信側の電源 ON/OFF の関係

(1) データ・レコード受信結果

最近の回線品質の劣化及び基地局の設置位置がETS-VIIIのビームの縁にあたる事から、過年度にわたり実施してきた桜島をフィールドとした実験より通信品質劣化が予想される。その為に実施した基地局 MODEM における対策を記載する。

対策 1 : 3 枚の復調基板(RX57, RX65, RX73)で受信する方法

対策 2 : Trace (LOG)データから手動でデータ生成する方法

対策 1 の実施によって、MODEM 装置内の復調基盤毎の回路誤差による CRC エラーの発生リスクを低減するために、過去 2 年間の実績から 3 枚の復調基盤で同時受信を行った。また、対策 2 は、フレーム 1 とフレーム 2 の 2 種類のフレームが受信できていながら、フレーム 1、フレーム 2 と連続でない事から生成できなかったデータに対して、手動で生成するものである。

これら対策による改善効果を表 17、表 18 に示す。復調基板 1 枚あたりの自動生成率が最大 38.3% であるのに対して、復調基板 3 枚による自動生成率は 44.7% になる。また、その自動生成ができなかった時間において、復調基板 3 枚の Trace データから手動で生成することで全生成率が 74.5% になった。

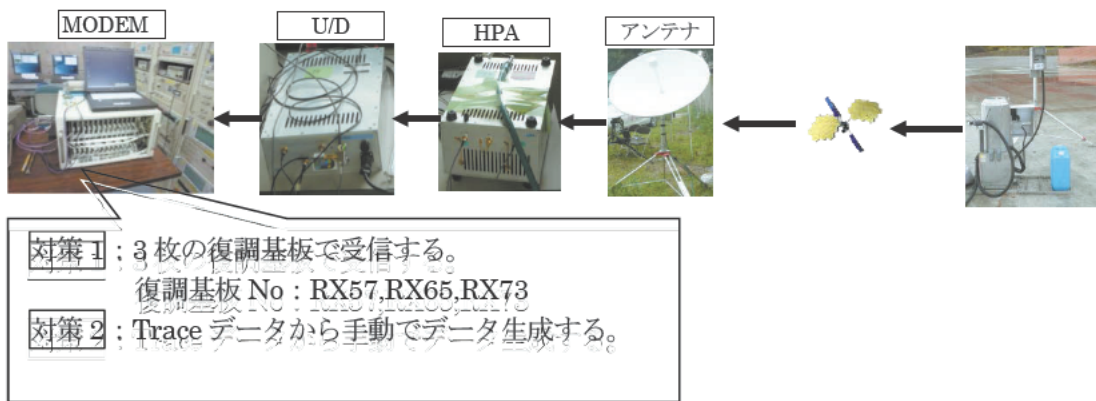


図 39 通信品質改善の対策について

表 17 通信品質改善対策によるレコード受信効果

条件	受信回数(受信率)
復調基板 1 枚あたりの自動生成数	15 回(31.9%)~18 回(38.3%)
復調基板 3 枚合わせた自動生成数	21 回(44.7%)
復調基板 3 枚合わせた手動生成数 *1	14 回(29.8%)
復調基板 3 枚の全生成数 *2	35 回(74.5%)

*1 自動生成できなかった時間内に受信した Trace データから手動で生成できた回数を示す。

*2 フレーム 1 とフレーム 2 が別の復調基板で受信できていたデータも含む

表 18 自動降灰・降雨量計データのレコード生成率 解析結果

転送時間	受信データ	復調基板毎レコード生成			復調基板3枚レコード生成	
		RX57	RX65	RX73	自動生成	手動生成
8:20	10/20/2015 08:20:00,16.6.277	○			○	
8:30	10/20/2015 08:30:00,16.6.27					△
8:40	10/20/2015 08:40:00,16.6.434	○	○	○	○	
8:50	10/20/2015 08:50:00,16.01.6.494	○	○	○	○	
9:00	10/20/2015 09:00:00,16.03.6.476	○	○	○	○	
9:10	10/20/2015 09:10:00,18.39.6.528	○	△	○	○	
9:20	10/20/2015 09:20:00,18.43.6.561	○	○	○	○	
9:30	10/20/2015 09:30:00,18.45.6.713	○	△	△	○	
9:40	10/20/2015 09:40:00,18.46.6.772		△	△		△
9:50	10/20/2015 09:50:00,18.45.6.791	○	○	○	○	
10:00	10/20/2015 10:00:00,18.46.6.972	○	○	○	○	
10:10	10/20/2015 10:10:00,18.46.7.165		△			△
10:20	10/20/2015 10:20:00,18.46.7.534	○	○	○	○	
10:30	10/20/2015 10:30:00,18.47.7.427	△	△	△		△
10:40	尻切れ					
10:50						
11:00						
11:10	10/20/2015 11:10:00,18.47.8.41	△		△		△
11:20						
11:30						
11:40						
11:50	10/20/2015 11:50:00,18.48.9.51					△
12:00	10/20/2015 12:00:00,18.47.9.51		○	△	○	
12:10	10/20/2015 12:10:00,18.47.9.9		△	△		△
12:20	10/20/2015 12:20:00,18.47.9.84		△	○	○	
12:30	10/20/2015 12:30:00,18.47.9.7	○	○	○	○	
12:40	10/20/2015 12:40:00,18.47.9.89	○	○	○	○	
12:50	10/20/2015 12:50:00,18.47.10.09	○	○	○	○	
13:00	10/20/2015 13:00:00,18.49.10.11	○	○	○	○	
13:10	10/20/2015 13:10:00,18.49.10.23	○	○	○	○	
13:20	10/20/2015 13:20:00,18.5.10.25		○	○	○	
13:30	10/20/2015 13:30:00,18.49.10.6	△	△			△
13:40	10/20/2015 13:40:00,18.5.10.93		△	○	○	
13:50	10/20/2015 13:50:00,18.5.11.38					△
14:00						
14:10	10/20/2015 14:10:00,18.49.11.22	△	△			△
14:20						
14:30	10/20/2015 14:30:00,18.49.11.31	△				△
14:40						
14:50	10/20/2015 14:50:00,18.49.11.16	○	○	○	○	
15:00	10/20/2015 15:00:00,18.49.11.05	△				△
15:10	尻切れ					
15:20	尻切れ					
15:30	10/20/2015 15:30:00,18.49.10.92	△				△
15:40	10/20/2015 15:40:00,18.49.10.73	○	△	○	○	
15:50	10/20/2015 15:50:00,18.48.10.54	△	△	△		△
16:00						
47 回	自動生成数: ○	17 36.2%	15 31.9%	18 38.3%	21 44.7%	14 29.8%
	手動生成数: △	8	12	7	全生成数	
	全生成数	25	27	25	35 74.5%	

(2) フレーム受信結果

次に今回の試験における自動降灰量・降雨量計データの CRC ERR 0 の復調基盤ごとのフレーム受信状況を表 19 に示す。20 日の通信試験時間(8:20-16:00)における復調基板 3 枚すべてによる受信率は、21.9%になった。

また、1 時間単位のフレーム受信率について、どの基板も 1 回以上レコードを自動生成していて受信率が一番悪いのは、11:00-12:00 の 11.1%であった。このことから、復調基盤を 3 枚使い、おおむね 10%以上の通信品質を確保できれば、1 時間に 1 回以上のレコード自動受信を行うことができる。

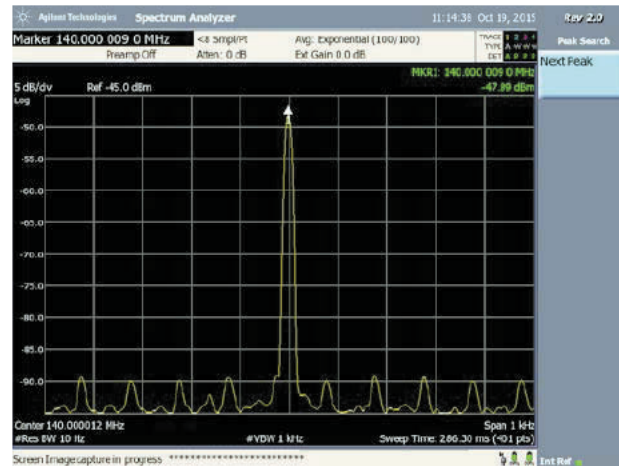
表 19 自動降灰・降雨量計データのフレーム受信率 解析結果

転送 時間	CRC ERR:[0]フレーム数			CRC ERR:[0]フレーム数 1時間単位		
	RX57	RX65	RX73	送信回数	3枚平均	受信率
8:20	5	4	2	60	20	33.3%
8:30	1	1	0			
8:40	6	6	5			
8:50	4	4	5			
9:00	5	6	5	72	27	37.5%
9:10	5	5	6			
9:20	6	7	5			
9:30	4	4	4			
9:40	3	4	3	60	10	16.7%
9:50	5	5	5			
10:00	3	4	4			
10:10	3	3	2			
10:20	3	2	3	72	8	11.1%
10:30	4	4	3			
10:40	-	-	-			
10:50	0	0	2			
11:00	0	0	0	72	26	36.1%
11:10	3	1	0			
11:20	0	0	0			
11:30	0	0	0			
11:40	0	0	0	72	13	18.1%
11:50	2	2	2			
12:00	3	5	5			
12:10	2	2	2			
12:20	3	4	5	72	10	13.9%
12:30	5	5	5			
12:40	4	4	5			
12:50	7	6	4			
13:00	6	4	4	48	10	20.8%
13:10	6	5	4			
13:20	1	2	2			
13:30	2	3	0			
13:40	3	4	3	21.90%		
13:50	1	1	0			
14:00	1	0	1			
14:10	3	2	1			
14:20	0	4	0			
14:30	2	0	0			
14:40	0	0	0			
14:50	4	4	4			
15:00	3	2	2			
15:10	-	-	-			
15:20	-	-	-			
15:30	2	2	1			
15:40	5	2	4			
15:50	2	3	3			
16:00	2	2	3			
47 回	計	129	128	114		
	受信率	22.9%	22.7%	20.2%		
		21.90%				
	全送信フレーム数: 47 回 x 12フレーム = 564フレーム					
	黄色マーカー:未受信レコード					

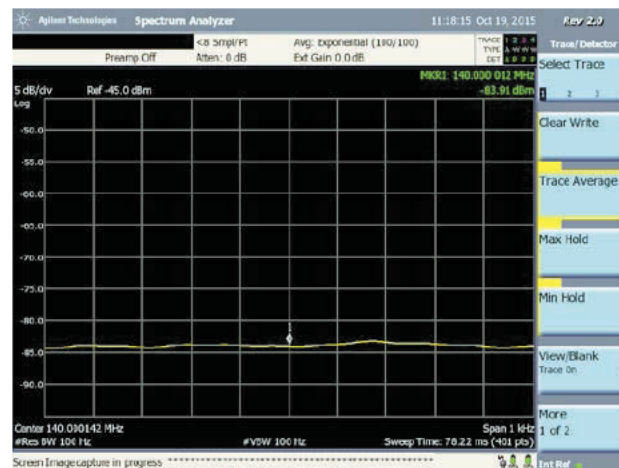
(3) 通信品質の確認

基地局から送信したデータを基地局で受信して(折り返し)C/N0(信号対雑音比)を測定し、通信品質の確認を行った。19~20日にかけて、C/N0の値には大きな変化は見られなかったことから、C/N0測定上では通信品質の問題は確認できなかった。

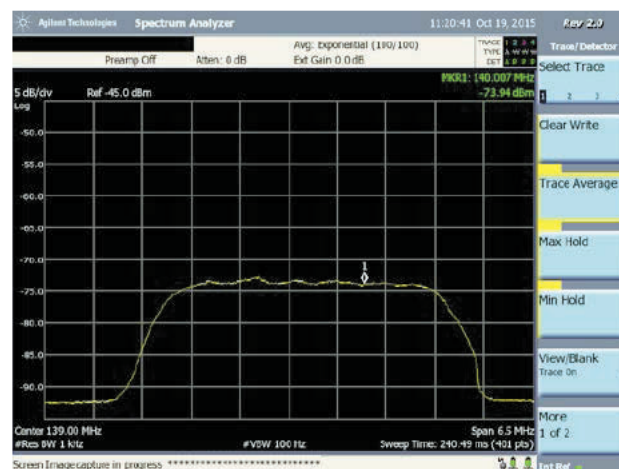
19日 11:15 C=-47.9dBm N=-83.9dBm/100Hz=-103.9dMm/Hz C/N0=56dBHz



(a) 信号受信レベルの測定



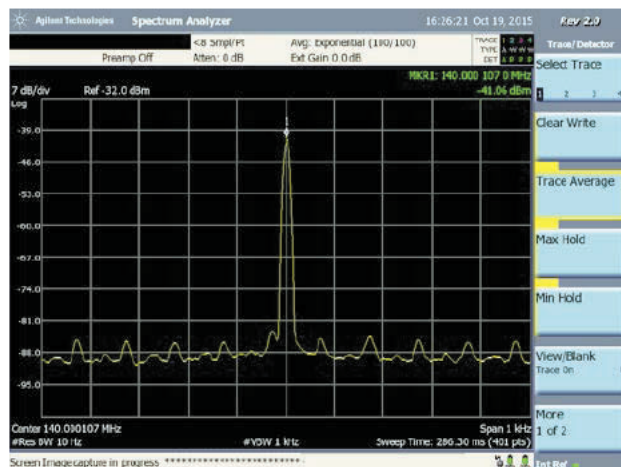
(b) 雑音レベルの測定



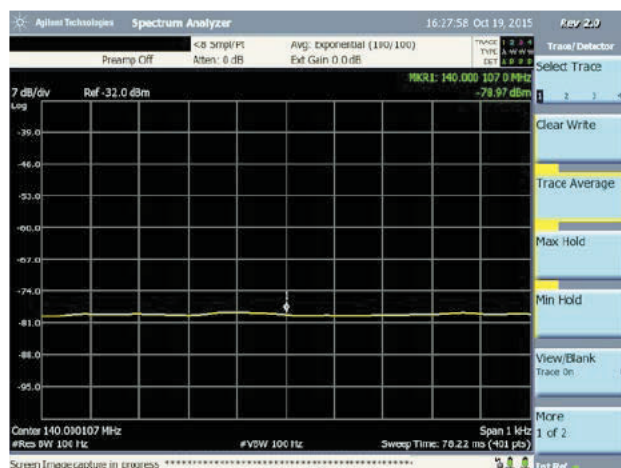
(c) 衛星システム雑音の測定

図 40 スペクトラムアナライザ 画像 (19日 11:15)

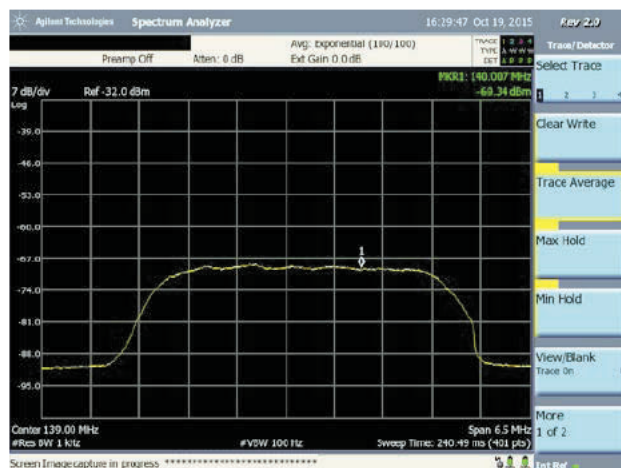
19日 16:30 C=-41.1dBm N=-79.0dBm/100Hz=-99.0dBm/Hz C/N0=57.9dBHz



(a) 信号受信レベルの測定



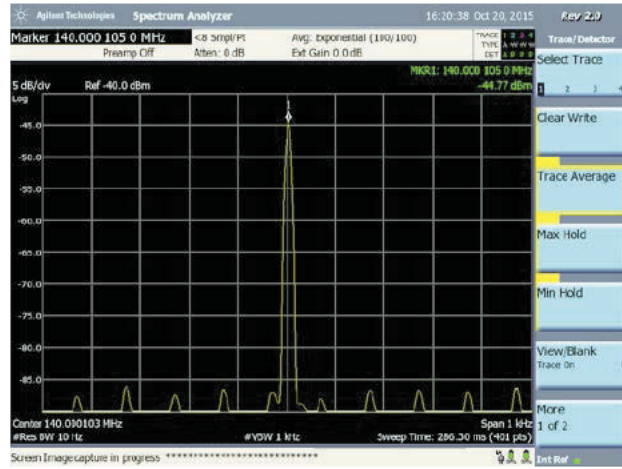
(b) 雑音レベルの測定



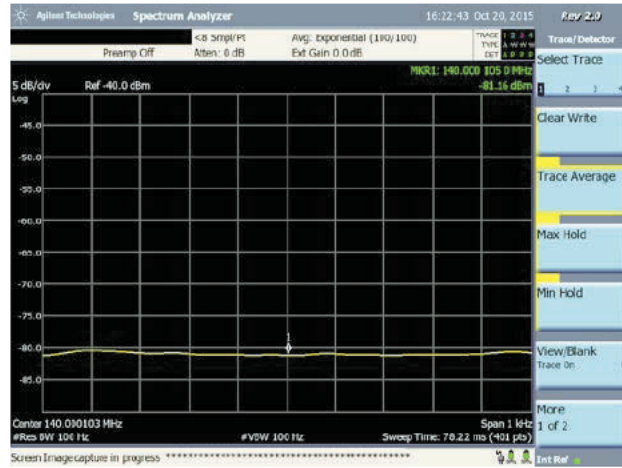
(c) 衛星システム雑音の測定

図 41 スペクトラムアナライザ 画像 (19日 16:30)

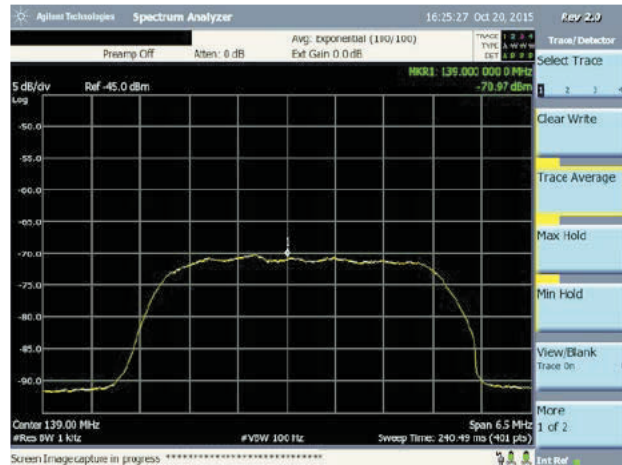
20日 16:20 C=-44.8dBm N=-81.2dBm/100Hz=-101.2dBm/Hz C/N0=56.4dBHz



(a) 信号受信レベルの測定



(b) 雑音レベルの測定



(c) 衛星システム雑音の測定

図 42 スペクトラムアナライザ 画像 (20日 16:20)

(4) 欠測の種類に基づく整理

本データ伝送実験による欠測の原因を確認するために、復調基盤(RX57)が1つのみで受信した場合のデータについて欠測の種類に基づく整理を行った。欠測の種類は以下の通り定義した。

完全欠測：データ自体が全く受信されなかったもの

部分欠測：データは受信されたが、日付の一部、計測データの一部が欠測しているもの

レコード過多：データは受信されたが、レコードが7以上受信され、かつ部分欠測であるもの

レコード数については、データが毎10分で最大6レコード受信できるとして整理を行った。そのためレコード過多による欠測については、7レコード以上受信されているが、ここでは6レコード分の欠測という取扱いにした。

表 20 に欠測状況とその考察を、表 21 に欠測の種類に基づく整理結果（自動データ生成、復調基盤(RX57)1枚のみ）をそれぞれ示す。表 21 によると、欠測の種類としては「完全欠測」によるものが約98%と大部分を占めていることを確認した。この理由としては、50頁で述べた予想「最近の回線品質の劣化」や「実験フィールドの位置（基地局の設置位置がETS-VIIIのビームの縁にあたる）」による通信品質の劣化によるものであると考えられる。一方、「部分欠測」は約2%、「レコード過多」は0%であった。

表 20 欠測状況とその考察

状 況	考 察
(1) 完全欠測ケース1	
12 フレームのうち、途中の幾つかのフレームに CRC エラーが発生し、正常に受信できていないケースが多い。	CRCエラーの発生は、衛星回線の影響による。近年のETS-VIIIの回線品質の劣化や基地局の設置位置がETS-VIIIのビームの縁にあたることが主な原因で本実験の欠測の大部分を占めるものであった。
(2) 部分欠測	
CRC エラーはほとんど発生していないが、日時やデータに抜けが認められる。	CRCエラーが発生していないことから衛星回線が原因ではなく、センサと超小型通信端末間のインタフェースの問題もしくは超小型通信端末の内部処理の問題であると推測される。本実験では、実験時間が半日程度であったこともあり、ほとんど発生しなかった。

表 21 欠測の種類に基づく整理結果 (自動データ生成、復調基盤(RX57)1枚のみ)

時間帯 2015/10/20	レコード					
	送信数 a	受信数 b c		欠測の種類(cの内訳)		
		(完全欠測)	(部分欠測)	(レコード過多)		
8:20	6	1	5	5		
8:30	6		6	6		
8:40	6	1	5	5		
8:50	6	1	5	5		
9:00	6	1	5	5		
9:10	6	1	5	5		
9:20	6	1	5	5		
9:30	6	1	5	5		
9:40	6		6	6		
9:50	6	1	5	5		
10:00	6	1	5	5		
10:10	6		6	6		
10:20	6	1	5	5		
10:30	6		6	6		
10:40	6		6	4	2	
10:50	6		6	6		
11:00	6		6	6		
11:10	6		6	6		
11:20	6		6	6		
11:30	6		6	6		
11:40	6		6	6		
11:50	6		6	6		
12:00	6		6	6		
12:10	6		6	6		
12:20	6		6	6		
12:30	6	1	5	5		
12:40	6	1	5	5		
12:50	6	2	4	4		
13:00	6	2	4	4		
13:10	6	1	5	5		
13:20	6		6	6		
13:30	6		6	6		
13:40	6		6	6		
13:50	6		6	6		
14:00	6		6	6		
14:10	6		6	6		
14:20	6		6	6		
14:30	6		6	6		
14:40	6		6	6		
14:50	6	1	5	5		
15:00	6		6	6		
15:10	6		6	4	2	
15:20	6		6	5	1	
15:30	6		6	6		
15:40	6	1	5	5		
15:50	6		6	6		
16:00	6		6	6		
計	282	19	263	258	5	0

レコード 受信率	成功率	失敗率	欠測の種類割合		
	b/a	c/a	(完全欠測)	(部分欠測)	(レコード過多)
	6.7%	93.3%	98.1%	1.9%	0.0%

【説明】

A (a)	
B (b)	
C (c)	
B/A (b/a)	
C/A (c/a)	
完全欠測	
部分欠測	
レコード過多	

8. まとめ総括

(1) 自動降灰・降雨量計の現地データ伝送実験

過年度報告書で得られた「センサと超小型通信端末のインタフェースの問題もしくは超小型通信端末の内部処理の問題」や「マルチパスや仰角変動による通信低下」について、それぞれ検討と改良を実施した。その結果、前者では根本的な改良ではないが、センサ側の送出データ自体に問題がないかを確認するため、データロガーから超小型通信端末へ送出されたデータの記録を残すようにセンサデータのプログラムを修正した。その結果、センサ側の送出データ自体に異常値は無く、部分欠測の原因は「センサと超小型通信端末のインタフェースの問題もしくは超小型通信端末の内部処理の問題」であることが改めて確認された。後者では通信アンテナを約 3dB 利得の高いものに変更することで、それぞれ対策を実施した。その結果、接続試験実施時には、正常にデータが受信されることを確認した。

改良した機器を用いて約 1.5 ヶ月間、桜島にて伝送実験を行った。その結果、基地局が稼働開始してからデータを最後に取得するまでのデータ取得成功率は、いずれも 9 割を超え、非常に高いものであった。データ伝送時間帯における降灰の捕捉としては、有村機で 1 事例だけ気象庁発表の南東方向への噴火に対応する降灰を検知した。また、そのような条件下でもデータ伝送が正常に行われることを確認した。

(2) 実災害時の対応を想定した現地データ伝送実験

昨年度までのデータ伝送を主とした実験から、今年度はより実災害時の対応を想定した実験を実施した。組み立て、設置、計測、データ伝送までの一連の作業を実施し、問題なく進められるかどうかを確認した結果、一連の流れを含めた自動降灰量計および超小型通信端末の設置作業については最低要員 4 人で 2~3 時間程度、基地局の設置作業については最低要員 2 人で 1.5 時間程度で完了し、データ伝送開始を迅速に実施できることを確認した。また、伝送品質については、目標であった 1 時間に 1 回以上のデータ転送が出来ることを確認した。

9. 今後の課題／展望

平成 25 年度から平成 27 年度までの 3 年間で、土木研究所と JAXA で「技術試験衛星 VIII 型 (ETS-VIII) を用いた災害対応センサデータの伝送実験」に関する共同研究契約に基づき、災害対応センサから得られたデータを ETS-VIII 衛星回線経由で配信可能であることを実証するための実験を行った。

ETS-VIII との通信を行う超小型端末を用いて、データの伝送が良好に行えることが確認できた。これにより、光ケーブルや携帯電話の回線のない、あるいは火山噴火の影響により通信手段の確保が困難となった地域においても通信を行うことが可能になると期待される。また、本研究における実験期間に降灰下におけるデータ伝送の機会があったが、データ伝送の成功率は下がったもののデータ伝送自体は可能であることが確認できた。

北海道開発局といった国土交通省機関における自動降灰・降雨量計の設置訓練において、迅速な設置やその後の通信が可能であることが本研究により検証された。

よって、火山噴火時に、本研究で開発した超小型端末等を用いて、衛星回線を介した自動降灰・降雨量計等のセンサデータを伝送することが有効な手段であることが実証できた。

今後は、ETS-VIII の運用終了後の代替機あるいは将来的な後継機によるデータ伝送についても、そのデータ伝送の良否を検証するとともに、災害時の円滑な運用が可能となる関係機関の間におけるスキームの構築が望まれる。

卷末資料

目 次

卷末資料 5 : 2014 年 12 月 17 日～2015 年 3 月 5 日

桜島噴火データ一覧表資-1

卷末資料 1

2014年12月17日~2015年3月5日

桜島噴火データ一覧表

2014/12/17 6:12	爆発	南東	少量
2014/12/19 18:45	爆発	南	中量
2014/12/19 5:33	爆発	東	中量
2014/12/19 10:30	噴火	北	中量
2014/12/19 16:46	爆発	北	中量
2014/12/20 11:56	爆発	南東	中量
2014/12/21 11:35	爆発	南東	少量以上
2014/12/25 22:54	噴火	南東	中量
2014/12/26 2:33	爆発	南東	中量
2014/12/26 17:19	爆発	南東	中量
2014/12/28 6:07	爆発	不明	不明
2014/12/28 6:46	爆発	東	中量以上
2014/12/28 8:28	爆発	北東	中量
2014/12/28 14:35	爆発	東	中量以上
2014/12/28 21:21	爆発	南東	中量以上
2014/12/29 6:31	爆発	南東	中量
2014/12/29 17:16	噴火	南東	中量
2014/12/30 23:48	爆発	南東	中量
2014/12/31 1:04	噴火	南東	中量
2014/12/31 2:32	爆発	南東	中量
2014/12/31 3:24	爆発	南東	中量
2014/12/31 20:22	爆発	不明	不明
2015/1/1 1:00	噴火	南東	中量
2015/1/1 20:21	爆発	南東	少量
2015/1/2 6:39	爆発	南東	少量
2015/1/2 17:42	爆発	南東	少量
2015/1/2 18:05	噴火	南東	中量
2015/1/2 20:53	噴火	南東	中量
2015/1/3 4:18	噴火	南東	中量
2015/1/3 5:02	噴火	南東	中量
2015/1/3 5:34	噴火	南東	中量
2015/1/3 7:20	爆発	南東	中量
2015/1/3 10:45	爆発	南東	中量
2015/1/3 12:10	爆発	南東	中量
2015/1/3 13:24	噴火	南東	中量
2015/1/3 13:46	噴火	南東	中量
2015/1/3 14:45	噴火	南東	中量
2015/1/3 15:06	爆発	南東	中量
2015/1/3 16:00	爆発	南東	中量
2015/1/3 16:58	爆発	南東	中量
2015/1/3 17:56	噴火	南東	中量
2015/1/3 18:05	爆発	南東	中量
2015/1/3 21:59	爆発	東	少量以上
2015/1/3 23:38	爆発	東	少量
2015/1/4 1:06	爆発	東	少量
2015/1/4 6:24	爆発	南東	中量
2015/1/4 6:49	噴火	南東	中量
2015/1/4 8:53	爆発	南東	中量
2015/1/4 10:58	爆発	南東	少量
2015/1/4 13:45	爆発	南東	中量
2015/1/4 16:10	爆発	不明	不明
2015/1/4 16:40	爆発	不明	不明
2015/1/4 20:58	爆発	南東	中量以上
2015/1/4 23:19	爆発	南東	少量以上
2015/1/5 1:13	爆発	南東	中量
2015/1/5 3:47	噴火	南東	中量
2015/1/5 4:24	爆発	南東	中量
2015/1/5 6:27	爆発	南東	中量
2015/1/5 7:25	爆発	南東	中量
2015/1/5 9:16	噴火	南	中量
2015/1/5 9:29	噴火	南	中量
2015/1/5 10:41	噴火	南東	中量
2015/1/5 13:00	爆発	東	中量
2015/1/5 13:35	噴火	東	中量
2015/1/5 20:35	噴火	東	中量
2015/1/6 3:38	爆発	不明	不明
2015/1/6 15:04	噴火	南東	中量
2015/1/6 19:41	噴火	南東	中量
2015/1/6 23:12	爆発	南東	中量
2015/1/6 23:32	噴火	南東	中量
2015/1/7 3:00	爆発	南東	中量
2015/1/7 3:23	噴火	南東	中量
2015/1/7 9:04	噴火	南東	中量
2015/1/7 9:16	噴火	南東	中量
2015/1/7 14:37	爆発	南東	中量
2015/1/7 18:48	噴火	南東	中量
2015/1/8 11:35	噴火	南東	中量
2015/1/8 13:30	噴火	南東	中量
2015/1/10 16:14	噴火	南東	中量
2015/1/10 19:21	噴火	南東	中量
2015/1/12 12:08	噴火	南東	中量
2015/1/12 14:32	噴火	南	中量
2015/1/12 18:00	噴火	南西	中量
2015/1/13 9:41	噴火	南西	中量
2015/1/13 22:20	噴火	北西	中量
2015/1/13 22:42	噴火	北西	中量
2015/1/14 8:27	爆発	北	少量
2015/1/15 19:14	爆発	南東	少量
2015/1/15 19:22	爆発	南東	中量
2015/1/15 23:02	爆発	南	中量
2015/1/17 22:38	噴火	南	中量
2015/1/18 11:51	噴火	東	中量
2015/1/18 13:57	噴火	北東	中量
2015/1/18 14:27	爆発	東	中量
2015/1/18 17:28	爆発	東	中量
2015/1/18 21:30	爆発	東	少量
2015/1/18 23:04	爆発	東	少量
2015/1/19 12:39	爆発	南東	中量
2015/1/20 2:39	噴火	南東	中量
2015/1/20 8:00	爆発	南東	中量
2015/1/20 14:42	爆発	南東	中量
2015/1/23 20:27	爆発	南東	中量
2015/1/23 20:36	爆発	南東	中量
2015/1/24 17:20	噴火	南東	中量
2015/1/25 7:48	噴火	北東	中量
2015/1/25 13:51	爆発	北東	中量

2015/1/25 14:52	噴火	東	中量
2015/1/26 0:13	爆発	北	中量
2015/1/26 7:31	爆発	不明	不明
2015/1/27 20:03	噴火	南東	中量
2015/1/28 7:50	爆発	南東	中量
2015/1/28 10:57	爆発	南東	中量
2015/1/28 11:22	噴火	南東	中量
2015/1/28 11:58	噴火	南	中量
2015/1/28 14:01	噴火	南	中量
2015/1/28 14:31	噴火継続	南	不明
2015/1/28 17:29	噴火	南西	中量
2015/1/29 6:24	噴火	北東	中量
2015/1/29 7:46	噴火	北	中量
2015/1/29 11:19	噴火	北東	中量以上
2015/1/29 21:22	爆発	不明	不明
2015/1/30 1:13	爆発	不明	不明
2015/1/30 3:49	爆発	不明	不明
2015/1/30 6:00	爆発	東	中量
2015/1/30 8:17	爆発	東	中量以上
2015/1/30 22:11	爆発	南東	少量以上
2015/1/31 1:40	爆発	南東	中量以上
2015/1/31 5:33	爆発	南東	少量以上
2015/1/31 6:50	爆発	南東	中量
2015/1/31 11:16	噴火	南東	中量
2015/1/31 12:38	爆発	南東	中量
2015/1/31 14:35	噴火	南東	中量
2015/1/31 15:47	爆発	南東	中量
2015/1/31 18:41	噴火	南	中量
2015/1/31 20:24	爆発	南	中量
2015/1/31 22:30	爆発	南	中量
2015/2/1 1:07	爆発	南	中量
2015/2/1 7:12	噴火	南	中量
2015/2/1 10:14	噴火	南西	中量
2015/2/1 10:56	噴火	南	中量
2015/2/1 14:02	噴火	南	中量
2015/2/1 15:03	噴火	南東	中量
2015/2/1 16:54	噴火	南東	中量
2015/2/1 17:24	噴火継続	南東	不明
2015/2/2 5:52	噴火	南東	中量
2015/2/2 7:59	噴火	南東	中量
2015/2/2 14:47	噴火	南東	中量
2015/2/3 0:34	噴火	南東	中量
2015/2/3 7:46	噴火	南東	中量
2015/2/3 9:56	噴火	東	中量
2015/2/3 10:29	噴火	東	中量
2015/2/3 11:50	噴火	東	中量
2015/2/3 12:27	噴火	東	中量
2015/2/3 13:31	噴火	東	中量
2015/2/3 14:37	噴火	東	中量
2015/2/3 16:48	噴火	東	中量
2015/2/3 17:54	噴火	東	中量
2015/2/3 19:24	噴火	南東	中量
2015/2/3 21:15	爆発	東	中量
2015/2/4 15:55	爆発	東	少量以上
2015/2/4 18:47	爆発	東	中量以上
2015/2/5 16:30	噴火	南東	中量
2015/2/5 21:42	噴火	南	中量
2015/2/6 19:55	爆発	南東	中量
2015/2/7 11:18	爆発	東	少量以上
2015/2/7 13:57	爆発	北東	少量以上
2015/2/7 14:29	爆発	北東	少量以上
2015/2/7 16:26	爆発	不明	不明
2015/2/8 18:35	爆発	南東	中量
2015/2/8 20:02	爆発	南東	少量
2015/2/8 22:33	爆発	南東	少量
2015/2/8 22:46	爆発	南東	少量
2015/2/9 3:37	爆発	南東	少量
2015/2/9 10:25	爆発	南東	少量
2015/2/9 13:02	爆発	南東	中量
2015/2/10 6:35	爆発	南東	中量
2015/2/10 6:41	爆発	南東	中量
2015/2/10 6:47	爆発	南東	中量
2015/2/10 16:02	爆発	南東	少量以上
2015/2/10 17:39	爆発	南東	少量以上
2015/2/10 17:39	爆発	南東	少量以上
2015/2/11 2:53	爆発	不明	不明
2015/2/11 6:01	爆発	東	中量
2015/2/11 20:55	爆発	東	中量
2015/2/11 21:43	爆発	東	少量
2015/2/11 22:46	爆発	東	中量
2015/2/11 23:03	噴火	東	中量
2015/2/12 0:59	爆発	東	少量
2015/2/12 1:26	爆発	東	中量
2015/2/12 2:45	爆発	東	中量
2015/2/12 3:13	爆発	東	少量
2015/2/12 3:48	爆発	東	中量
2015/2/12 4:16	爆発	東	中量
2015/2/12 6:44	爆発	東	中量
2015/2/12 9:23	爆発	東	中量
2015/2/12 11:11	爆発	東	中量以上
2015/2/12 14:03	爆発	不明	不明
2015/2/12 15:46	爆発	不明	不明
2015/2/12 16:57	爆発	不明	不明
2015/2/12 18:06	爆発	東	中量
2015/2/12 22:00	爆発	南東	少量
2015/2/12 23:55	爆発	南東	中量
2015/2/13 1:37	噴火	南東	中量
2015/2/13 4:18	爆発	南東	中量
2015/2/13 4:21	爆発	南東	中量
2015/2/13 6:58	爆発	南東	中量
2015/2/13 8:56	噴火	南東	中量
2015/2/13 10:21	爆発	南東	少量
2015/2/13 11:44	爆発	南東	少量
2015/2/13 13:32	爆発	南東	中量
2015/2/13 14:42	爆発	南東	中量
2015/2/13 15:25	爆発	南東	少量

2015/2/13 16:32	爆発	南東	中量
2015/2/13 17:01	噴火	南東	中量
2015/2/13 21:41	爆発	南東	中量
2015/2/13 23:05	爆発	南東	中量
2015/2/14 0:24	爆発	南東	中量
2015/2/14 0:39	爆発	南東	中量
2015/2/14 2:49	爆発	南東	少量
2015/2/14 5:45	噴火	南東	中量
2015/2/14 6:07	噴火	南東	少量
2015/2/14 7:14	爆発	南東	中量
2015/2/14 8:25	噴火	南東	中量
2015/2/14 9:32	噴火	南東	中量
2015/2/14 10:49	爆発	南東	中量
2015/2/14 12:48	爆発	南東	中量
2015/2/14 14:14	噴火	南東	中量
2015/2/14 14:46	噴火	南東	中量
2015/2/14 16:16	噴火	南東	中量
2015/2/14 17:27	噴火	南東	中量
2015/2/14 17:40	爆発	南東	少量
2015/2/14 19:48	爆発	南東	中量
2015/2/14 21:05	噴火	南東	中量
2015/2/15 1:19	爆発	南東	中量
2015/2/15 5:10	噴火	南東	中量
2015/2/15 8:00	爆発	南東	中量
2015/2/15 16:18	噴火	南東	中量
2015/2/15 17:28	爆発	南	中量
2015/2/15 19:03	爆発	東	中量
2015/2/16 2:13	爆発	東	中量
2015/2/16 6:07	爆発	東	中量以上
2015/2/16 7:52	噴火	北東	中量以上
2015/2/16 15:49	爆発	不明	不明
2015/2/16 21:01	爆発	不明	不明
2015/2/17 2:06	爆発	南東	中量
2015/2/17 19:54	噴火	南東	中量
2015/2/18 0:37	噴火	南東	中量
2015/2/18 5:46	爆発	南東	中量
2015/2/18 6:40	爆発	南東	少量以上
2015/2/18 23:11	爆発	南東	中量
2015/2/19 13:23	爆発	南東	中量
2015/2/19 13:51	噴火	南	中量
2015/2/19 22:51	噴火	南	中量
2015/2/20 4:04	爆発	南東	中量
2015/2/20 7:32	噴火	南	中量
2015/2/20 12:08	爆発	南西	中量
2015/2/20 14:23	噴火	南東	中量
2015/2/20 19:11	噴火	南西	中量
2015/2/20 21:02	爆発	西	中量以上
2015/2/21 0:53	爆発	南東	中量
2015/2/21 4:15	噴火	東	中量
2015/2/21 10:06	噴火	北	中量
2015/2/21 12:21	噴火	北	中量
2015/2/21 13:31	噴火	北	中量以上
2015/2/22 22:52	爆発	不明	不明
2015/2/23 1:05	爆発	不明	不明
2015/2/23 3:06	爆発	不明	不明
2015/2/23 4:37	爆発	東	中量
2015/2/23 5:56	爆発	東	中量
2015/2/23 6:44	噴火	東	中量
2015/2/23 16:16	噴火	南東	中量
2015/2/23 18:36	噴火	南東	中量
2015/2/23 19:28	噴火	南	中量
2015/2/23 23:3			

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No. 485 October 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754