

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト
次世代火山研究推進事業

課題 E：火山観測に必要な新たな観測技術の開発

空中マイクロ波送電技術を用いた
火山観測・監視装置の開発

平成 28 年度
成果報告書

平成 29 年 5 月

文部科学省研究開発局
国立大学法人九州大学

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立大学法人九州大学が実施した平成28年度「火山観測に必要な新たな観測技術の開発（空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発）」の成果をとりまとめたものです。

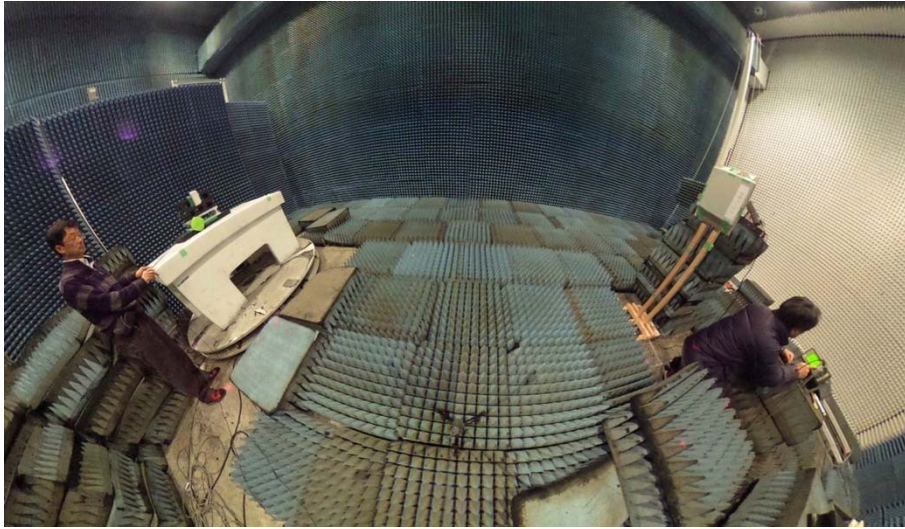
グラビア



伊豆大島における無人航空機を用いたマイクロ波送受電およびデータ回収実験風景。日本で初めての屋外での実験であり、空中からのマイクロ波送受電およびデータ回収に成功した。



試作した GNSS 受信装置(右) とデータ回収装置 (左)。前者は地上設置し、後者は無人航空機に搭載する。データは無線 LAN を使用して伝送されるが、良好な伝送状態を保つために、GNSS 受信装置を金属筐体から取り出して、基板剥き出しの状態で使用した。距離 10m までは高速データ回収は可能であり、低速ながらも 60m 離れた所からデータ回収も可能であった。



電波暗室内における、マイクロ波送受電効率の測定実験風景。アンテナの放射パターンの測定や、マイクロ波送電がGNSS観測に影響を与えないかの確認実験も実施した。

はじめに

活火山の周辺地域には、商用電源や通信手段が確保できない領域が多い。そのためこれらの火山の地震や地殻変動などの物理学的観測・監視にはこれまで電源や通信手段の確保に多くの労力が費やされてきた。電子回路の高性能化にともない、機器の小型化・低消費電力化が進み、太陽電池や携帯電話回線で運用できる機器も増えてきた。しかし常に火山灰や噴石に晒される可能性が高い火口周辺や火口カルデラ内での観測では、太陽電池の能力低下や通信手段の途絶の危険性が高く、安定した観測・監視体制の構築が難しかった。

一方、マルチコプターを代表とする無人航空機の制御技術の発展・低価格化は近年著しいものがあり、わずか数万円で購入できる小型機も市販され、映像撮影の分野で一般的に使用されるようになってきた。これまで20kg程度のペイロードがあるエンジン付き産業用ヘリコプターで火山観測機器を設置したり回収したりする実験が行われ、一部火山監視活動にも実用化されてきたが、機体が大きく運用が大変なこと、動力エンジン機構も一般のヘリコプター並に複雑なこと・専任の運用技術者が必要なことなどから、運用コストや緊急時の運用に難点があった。しかし近年のマルチコプターはリチウム電池を駆動源とし、GNSS制御により座標を設定すれば目的の場所に行き帰ってくるのがほぼ無操作で可能となっており、飛行操縦に素人な研究者でも運用が可能となっている。

またワイヤレスで機器に電力を送信する無線送電技術も近年実用化に向けて実験が繰り返され実施されるようになってきた。とくに高出力のギガヘルツ帯マイクロ波を使い、効率良く大電力を送信するマイクロ波送受電技術は、高高度上空や宇宙空間に展開した太陽光発電設備からマイクロ波ビームを使って安定した電力を地上に送ろうとする次世代のエネルギー政策の根幹技術となっており、日本が世界をリードしている技術となっている。

本研究では、これらの日本が持つ最先端の技術を組み合わせ、活火山等の到達不可能地域における火山観測・監視装置への給電と同時にデータ回収を効率的に行う機器の開発と実用化を行うことを目標としている。

本研究で使用する技術は、日本が世界をリードする技術としてすでに多くの成果が発表されている。本研究組織にはそのリーダーとなって開発を進めている研究者が含まれていると同時に、それぞれの技術を用いた製品開発に実際に携わっている企業からの研究協力者も含まれているため、世界に先んじて空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発が可能であると予想できる。

またこれらのマイクロ波送電技術は無人地上走行ロボットへの給電、空中係留型観測装置への給電などへの応用も可能であり、本研究の技術開発は火山観測のみならず地球規模の観測技術に使われる可能性がある。

グラビア	i
はじめに	iii
目次	
1. 課題の概要	1
2. 研究機関および研究者リスト	1
3. 研究報告	2
(1) 業務の内容	2
(a) 業務題目	2
(b) 担当者	2
(c) 業務の目的	2
(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	2
(e) 平成28年度業務目的	4
(2) 平成28年度の成果	5
(a) 業務の要約	5
(b) 業務の実施方法	5
1) 伊豆大島におけるマイクロ波電力伝送およびデータ回収実験	5
(c) 業務の成果	13
1) マイクロ波送電に関わる技術実験	13
2) 小型省電力の火山観測装置の開発	14
(d) 結論ならびに今後の課題	14
(e) 引用文献	15
(f) 成果の論文発表・口頭発表等	15
(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定	15
(3) 平成29年度の業務計画案	16
4. 活動報告	17
4.1 会議録	17
4.2 対外的発表	18
5. むすび	19

1. 課題の概要

本委託業務は、近年技術革新が著しい無人航空機（ドローン）技術と、実用化に向けて着々と実験が進んでいるマイクロ波送電技術を組み合わせ、活火山等の到達不可能地域における観測・監視装置への給電とデータ回収を効率的に行う機器の開発を行うとともに、活火山の観測に実際に投入し、他の課題と協力して活火山の火山活動を総合的に研究・評価しようとするものである。

今年度は屋外においては日本初となる無人航空機からのマイクロ波送電実験を伊豆大島火山で実施し、地上観測装置で受電した電力を用いて、温湿度の観測データを無人航空機で回収することに成功した。

一方現在使用されているマイクロ波送受電アンテナでは、伝送効率が1%未満と低く、消費電力が多くかつ伝送する観測データ量も格段と多い地殻変動や地震の観測装置の電力源として使うには不十分であることがわかった。本課題では、さらに室内実験を行い実用化にむけての問題点および改良点を洗いだした。

今後本課題では、マイクロ波送受電アンテナの改良やマイクロ波変換効率の改善をおこなって、伝送効率10%を超えるマイクロ波給電システムの開発を行うとともに、火山を観測する地上装置の改良、火山地域における無人航空機の運用安定性や位置精度向上について改良を行っていく。平成35年度には実際の活火山に設置して観測を開始し、観測データを火山研究や火山監視に役立てるとともに、ユーザーのニーズや意見を集めてさらなる機器の改良に努める。

2. 研究機関および研究者リスト

所属機関	役職	氏名	担当課題
国立大学法人 九州大学 大学院理学研究院	准教授	松島 健	
国立大学法人 九州大学 大学院理学研究院	教授	清水 洋	

3. 研究報告

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人 九州大学 大学院 理学研究院	准教授	松島 健	mat@sevo.kyushu-u.ac.jp
同	教授	清水 洋	hshimizu@kyudai.jp
同	テクニカルス タッフ	手操佳子	
株式会社 翔エンジニアリング	代表取締役	藤原暉雄	
同	取締役	今津吉昭	
同	取締役	勝亦正晃	
株式会社 セシアテクノ	代表取締役	足立忠司	
国立大学法人 京都大学 生存圏 研究所	教授	篠原真毅	
国立大学法人 京都大学 防災研 究所	教授	井口正人	

(c) 業務の目的

近年急速に技術革新が著しい無人航空機（ドローン）技術と、実用化に向けて着々と実験が進んでいるマイクロ波送電技術を組み合わせ、活火山等の到達不可能地域における観測・監視装置の設置と給電・データ回収を効率的に行う機器の開発を行い、実際の活火山地域に設置して火山研究・監視業務に資する。

(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成28年度：

ギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置を組み立て、火山観測用デバイスに組み込んだ。火山観測用デバイスとしては、GNSS受信装置および地震観測装置の組み込みを当初目標とした。

11月上旬に伊豆大島で開催される無人観測ロボットシンポジウムに参加して、屋外でのマイクロ波送電・データ回収実験を実施した。

多素子のマイクロ波送電アンテナを使用し、屋内試験において送電効率の計測を実施した。

2) 平成29年度：

送電効率を向上するために、ギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置のアンテナの設

計試作をするとともに、免許取得が不要な室内での実験を実施する。火山観測用デバイスとして、GNSS 観測・地震観測用装置の設計・製作を行う。

無人航空機の自律航法精度の検証を行う。上空からマイクロ波を送電して地上で効率良く電力を受けるためには、無人航空機の位置精度が 1 m 以内であることが望ましい。現状の自律航法装置の位置決定精度を実際の飛行実験で検証し、精度向上方法について検討をおこなう。

3) 平成 30 年度 :

設計・試作したギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置のアンテナの免許を取得して、屋外地上における伝送実験を行い、送電効率 10% を目指す。

設計・製作した GNSS 観測・地震観測用装置を用いて、屋外における地上データ回収実験を行う。

無人航空機の飛行位置精度の向上を目指すため、自律航法装置の改良を行う。自律航法装置に用いられている GNSS 装置を、現在日本が整備を進めている準天頂衛星「みちびき」を使うものに設計変更することにより、位置決定精度が数 cm に向上することが期待される。また地上からのビーコン誘導による位置精度向上についても検討・実験を行う。

4) 平成 31 年度 :

設計・試作したギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置のアンテナの免許を取得して、無人航空機に搭載して上空からの伝送実験を行い、送電効率 10% を目指す。

設計・製作した GNSS 観測・地震観測用装置を用いて、無人航空機を使用した上空からのデータ回収実験を行う。

改良した自律航法装置を用いた無人航空機の飛行実験をおこない、飛行位置精度の検討を行う。また地上からのビーコン誘導による位置精度向上の検証実験を行う。

5) 平成 32 年度 :

設計・試作したギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置や GNSS 観測・地震観測装置を実際の活火山での運用に耐えるような運用機への設計・試作を行う。火口周辺地域は、一度機器を設置すると定期的な保守点検作業が難しいことから、耐候性、耐雷性をもつ機器の開発が必要である。また多少の噴火被害にも耐えられるように、耐衝撃性、耐熱性をもつ地上装置を設計することも必要である。

無人航空機の火山地帯における運用実験や改良を行う。平地における飛行と異なり、火山地域では、標高が高いことによる飛行能力の低下、強風による位置精度、姿勢制御の悪化がみこまれることから、無人航空機の機体の改良、自律航法装置の改良を行い、火山地域でも安定した飛行ができるようする。

6) 平成 33 年度 :

運用機にむけて設計・試作したギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置や GNSS・地震の観測装置を、実際の活火山での運用に耐えるように地上運用実験および耐久性の試験を行う。

引きつづき無人航空機の火山地帯における運用実験や自律航法装置や姿勢制御装置の改良を行って、火山地域でも安定した飛行ができるようする。

7) 平成34年度：

実際の活火山での運用に耐えるように試作・製作したギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置やGNSS・地震の観測装置の無人航空機からのマイクロ波送電およびデータ回収実験を行い、運用機を完成させる。

引きつづき無人航空機の火山地帯における運用実験や自律航法装置や姿勢制御装置の改良を行って、火山地域でも安定した飛行ができるようする。

8) 平成35年度：

完成した運用機を用いて実際の活火山での地震・地殻変動観測を実施する。観測は桜島の2地点程度を想定している。桜島は活発な火山活動が継続し、火口周辺には立入禁止区域が設定されていることから、設置運用実験を実施しやすく、活発な地震・地殻変動の発生が予想されるため、試験・評価値としても適している。無人航空機を用いて1年に4回程度のマイクロ波送電とデータ回収を行う。

取得された観測データを逐次課題Aのプラットフォームで公開し、全国の火山研究者や防災関係者に提供する。

9) 平成36年度：

完成した運用機を用いて実際の活火山での地震・地殻変動観測を実施する。桜島の観測を継続するとともに、本年度は新たに富士山等での観測を検討する。富士山は課題B-4においても集中的な火山観測を実施する計画となっており、B-4課題の一環として火山観測調査を実施できる。無人航空機を用いて1年に4回程度のマイクロ波送電とデータ回収を行う。

取得された観測データを逐次課題Aのプラットフォームで公開し、全国の火山研究者や防災関係者に提供する。

10) 平成37年度：

完成した運用機を用いて実際の活火山での地震・地殻変動観測を実施する。桜島や富士山の観測を継続するとともに、本年度は新たに新潟焼山等での観測を検討する。新潟焼山も活発な火山活動が継続し、多数の地震や微動・地殻変動の発生が予想されるため、試験・評価値としても適している。また課題B-4においても集中的な火山観測を新潟焼山で実施する計画となっており、B-4課題の一環として火山観測調査を実施する。無人航空機を用いて1年に4回程度のマイクロ波送電とデータ回収を行う。

取得された観測データを逐次課題Aのプラットフォームで公開し、全国の火山研究者や防災関係者に提供する。

(e) 平成28年度業務目的

無人航空機（ドローン）技術とマイクロ波送電技術を組み合わせ、活火山等の到達不可

能地域における観測・監視装置の設置と給電・データ回収を効率的に行う機器の開発を開始する。

ギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置を組み立て、火山観測用デバイスに組み込む。火山観測用デバイスとして、GNSS受信装置および地震観測装置を検討する。

11月上旬に伊豆大島で開催される無人観測ロボットシンポジウムに参加して、屋外でのマイクロ波送電・データ回収実験を実施する。

多素子のマイクロ波送受電アンテナを使用し、屋内試験において送電効率の計測を実施し、送電効率10%を目指す。

(2) 平成28年度の成果

(a) 業務の要約

無人航空機（ドローン）技術とマイクロ波送電技術を組み合わせ、活火山等の到達不可能地域における観測・監視装置の設置と給電・データ回収を効率的に行う機器の開発を開始した。伊豆大島火口原において機器を搭載した無人航空機の屋外初の飛翔実験を行い、マイクロ波送電性能の測定および観測データ回収技術の確認実験を実施した。無人航空機から発射したマイクロ波を、地上の温度センサーが受電し、その電力を使用して測定データを送信することに成功した。今年度の実験では広域照射用の送受電用のアンテナを使用したため、送受電効率は1%に達しなかった。小型省電力の火山観測装置の開発を開始した。WiFi SDカードを用いたデータ回収装置を試作し、10m離れたところからでもGNSSの観測データを高速に回収できることを確認した。

(b) 業務の実施方法

1) 伊豆大島におけるマイクロ波電力伝送およびデータ回収実験

平成28年11月1～6日に伊豆大島の裏砂漠地域において、無人航空機を使ったマイクロ波電力伝送およびデータ回収実験を行った

a) 目的　　マイクロ波電力伝送技術と無人航空機技術による火山観測データ回収実験

参加者：松島、藤原、勝亦、足立、今津（11/1-6）、篠原（11/3-4）、小野（オリエンタ
マイクロウェーブ）（11/2-6）、小川（菊池製作所）（11/4-6）、久保（ガルト エア
ロ サービス）（11/4-6）

b) 日程

- 11/1（火） 松島・藤原・勝亦・足立・今津 来島
- 11/2（水） 実験機材員数点検確認、
- 11/3（木） マイクロ波関連機器の正常動作確認点検
裏砂漠実験場視察と実施場所確認
- 11/4（金） 無人航空機の組立・正常動作確認点検
裏砂漠実験場にてマイクロ波電力伝送実験（I）実施
- 11/5（土） 裏砂漠実験場にてマイクロ波電力伝送実験（II）実施
- 11/6（日） 全員離島



写真1 マイクロ波電力送電器 (5.81GHz 帯送電機)



写真2 広域照射タイプ送電アンテナ



写真3 マイクロ波受電アンテナ付き温湿度計測ユニット

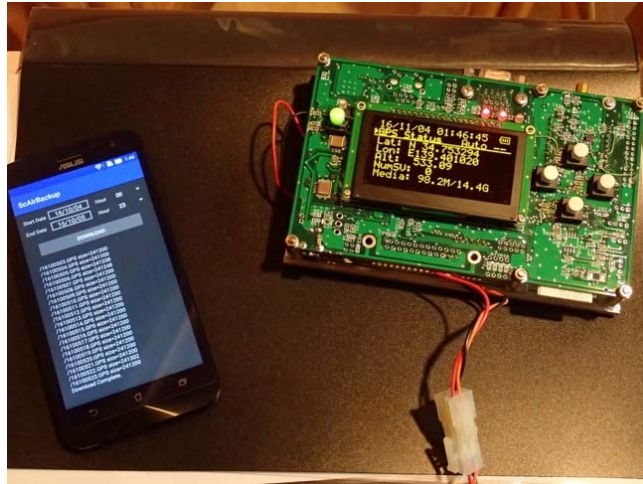


写真4 Flash Air 対応遠隔 GNSS データ回収装置



写真5 シングルローター無人機 型式 MX620



写真6 シングルローター無人機（予備機）型式 GS62

d)実施内容

i)実験用機材の確認

実施日：11月2日

実施項目：

供試バッテリー用充電器以外、全ての機材の員数を点検し過不足なしを確認。供試バッテリー用充電器は輸送手違いで11月2日午後着荷し、即供試バッテリーの充電を開始した。充電中（11月2日～3日午前中）、軽トラック用バッテリーを代替品として使用し確認試験を行った。

室内に無人航空機搭載機器と地上配置機器（温湿度センサ）を1m程度の間隔で置き、正常に動作する事を点検し、データ回収機能を確認した。表-1は、無人航空機搭載機器からマイクロ波電力伝送して温湿度計測ユニットを活性化させ、回収された温度・湿度データの一部である。この試験は、当日17:58:14～17:58:54の40秒間行われた。

Received Date	Received Time	ID	Temperature	Humidity
11/2/2016	17:58:43	00150A	25	88
11/2/2016	17:58:44	00150A	25	89
11/2/2016	17:58:45	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:45	00150A	25	90
11/2/2016	17:58:46	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:46	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:47	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:48	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:48	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:49	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:49	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:50	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:50	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:51	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:51	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:52	00150A	26	90
11/2/2016	17:58:52	00150A	26	90

表1 マイクロ波給電を受けた地上の温湿度センサーから送信された温湿度データ

ii)マイクロ波関連機器の正常動作確認点検

実施日：11月3日

実施項目：

大島温泉ホテル敷地内に実験檣を建て、檣から地上高約2mの位置に無人航空機搭載機器を吊り下げ、その直下の地面に地上配置機器（温湿度計測ユニット或いはFlash

Air 対応遠隔 GNSS データ回収装置) を置き、これ等の機器が正常に動作し機能することを確認した (写真 7)。

なお、この試験は 2 回に分けて実施され、午前中は軽トラック用バッテリーを使用し
て行われたデータである。午後は正規の供試用バッテリーを使って夕刻 (16:00 から
16:25 まで) に行われた。

昼食後から午後 3 時まで、実験場がある裏砂漠地域を調査し、機材搬入ルート及び
実験場所の確認を行った。



写真 7 地上における、マイクロ波送受電確認実験風景

iii) 無人航空機の組立・正常動作確認点検

実施日：11 月 4 日午前中

実施項目：

裏砂漠実験場に無人航空機を含む全ての機材を搬入し、無人航空機を組立て、正常
に試験飛行を終えた (写真 8~10)。



写真 8 実験場全景 (伊豆大島裏砂漠地区)



写真 9 無人航空機組立



写真 10 無人航空機試験飛行

iv) 裏砂漠実験場にてマイクロ波電力伝送実験 (I) 実施

実施日：11月4日午後

実施項目：

無人航空機に無人航空機搭載機器を組み込み、温湿度計測ユニットを地上に置き、無人航空機を高度 2 m、3 m、4 m、5 m と変えて温湿度データ回収の可否を実験した。データ回収結果は、2～4 m の高度では成功したが、高度 5 m からはデータ回収出来なかった。

データ回収周期が 2 秒から 4 秒と安定していない原因について検討をした（この原因と対策について次節で報告）。GNSS 計測ユニットを地上に置き、無人航空機を高度 2 m、3 m、4 m、5 m と変えて温湿度データ回収の可否を実験はじめたが、GNSS データ回収が出来ず実験を中断し、裏砂漠実験場から大島温泉ホテル敷地の実験檜に戻り、原因究明にあたった。

原因究明は、大島温泉ホテル敷地内に用意した静試験檜を使って地上高約 2m の位置に無人航空機搭載機器を吊り下げ、その直下の地面に置いた GNSS 計測ユニットとの間で電力伝送と計測データ無線交信と正しく行われているかの確認作業中心に行われた。

その結果、Wi-Fi 付 SD カードが、カードソケットに充分挿入されていないために起きた事が判明した。Wi-Fi 付 SD カードをカードソケットに確りと挿入した結果、GNSS 計測ユニットからの GNSS データ回収が確認できた。

v) 裏砂漠実験場にてマイクロ波電力伝送実験 (II) 実施 (前半)

実施日：11月5日午前

実施項目：

GNSS 計測ユニットを地上に置き、無人航空機を高度 2 m、3 m、4 m、5 m と変えて飛行させ (1 クール)、それぞれの高度から GNSS データ回収できるか試験した。この試験は、合計 2 クール行われた。マイクロ波送電によって地上装置が得ることのできる電力は、現在のところ GNSS 計測ユニットを起動するだけの電力量を満たしていないため、マイクロ波送受電部は、無人航空機の接近を検知する機能のみに使用し、無人航空機が接近した際に、別電源で動作している GNSS 計測ユニットの無線 LAN カードに電源がはいり、無人航空機にデータが送信されるようにした。

データ回収結果は、第 1 クール、第 2 クール共、2 ~ 4 m の高度では成功したが、高度 5 m からはデータ回収出来なかった。無人航空機の飛行高度確認は、2 m の紐を無人航空機から下ろして点検し、概ね正しい事を確認した。データ回収が高度 5m 以上で出来なかった理由としては、地上のマイクロ波受信ユニットが無人航空機の接近を感知できず、無線 LAN カードへの電源供給が行われなかったと考えられた。次節で記載するとおり、別途 GNSS 計測ユニットのみのデータ通信実験を行ったところ、距離 60m まではデータ回収可能であり、距離 10m 以内であれば高速にデータ回収できることを確認している。

その後無人航空機“MX620”が故障し、代替機“GS62”の組立作業を行うため、この時点で午前の試験を終えた。



写真 11 無人航空機によるマイクロ波送受電および GNSS データ回収実験

vi) 裏砂漠実験場にてマイクロ波電力伝送実験 (II) 実施 (後半)

実施日：11月5日午後

実施項目：

温湿度計測ユニットを地上に置き、無人航空機を高度 2 m、3 m、4 m、5 m と変えて温湿度データ回収試験を試みた。データ回収は出来たが、強風（平均 9m/s、最大 10m/s）のため、無人航空機の操縦が困難になり安全確保の観点から、14:15 に試験中止を決定した。

e) まとめ

i) マイクロ波電力伝送技術と無人航空機技術による火山観測データ回収実験の成果

使用したマイクロ波電力送電器（5.81GHz、33W）、GNSS 計測ユニット、温湿度計測ユニットの組合せでは、飛行高度 4 m 以下であれば、観測データを回収できる事が確認でき、実験は成功した。

ii) 温湿度計測ユニットのデータ回収周期の不安定原因と対策

データ回収周期の不安定問題

ノート PC が受信する温湿度センサーの受信データの送信間隔が短くなったり長くなったり動作が安定しなかった。標示用の LED の消費電流が他に比して大きく、LED 点灯で受電電圧が短時間で低下したことが原因と判断された。温湿度センサーの LED を取り外して、再度試験したところ、受信データの受信周期が 1 秒近辺で安定し、温湿度センサーからの無線送信が途中で中断する事もなくなった。

iii) その他の問題と対策

RF 出力（送電器リレーボックス）ON/OFF 制御

送電器リレーボックスが RF 出力常時 ON のままであった。本来の設計通り、リモートで ON/OFF 制御できるよう改善することを決めた。

無人航空機のリターンタイミング問題

無人航空機遠隔操作ユニットに、リターン用無線チャンネルを追加する。追加無線チャンネルを介して、送電器の RF 出力完了信号を無人航空機操縦者に報せることができる。無人航空機操縦者は、RF 出力完了信号を受信してから、無人航空機をリターン操作することが可能となる。

電波干渉問題

温湿度センサーデータ中継器の受信系アンテナ回線が干渉し、無人航空機操縦に影響を及ぼしていることがわかった。今回の実験では、2 本のアンテナの 1 本を取り外す事で、干渉しないように対処した。詳細な原因調査の上、翌年 2 月の実験（京都大学宇治キャンパス）までに対処することとした。

遠隔操縦距離不足

無人航空機を 2km 離れた遠隔地から操縦できるように、無線機 400M 帯の出力アップを要望した。

(c) 業務の成果

1) マイクロ波送電に関わる技術実験

伊豆大島火口原において機器を搭載した無人航空機の屋外初の飛行実験を行い、マイク

ロ波送電性能の測定および観測データ回収技術の確認実験を実施した。無人航空機から発射したマイクロ波を、地上の温度センサーが受電し、その電力を使用して測定データを送信することに成功した。

多素子のマイクロ波送受電アンテナを使用し、屋内試験において送電効率の計測を実施した。

本来であれば送電効率の高い狭照射域のマイクロ波送受電用のアンテナを作成して屋外実験するべきであった。しかし総務省に免許申請するためには、電波暗室室内にて詳細なアンテナ照射データを取得する必要があるが、今年度はデータ取得し申請するための時間的余裕がなかった。そのため今回の実験では既存の広域照射用の送電アンテナを実験に使用したため、送受電効率が1%に達しなかった。

2) 小型省電力の火山観測装置の開発

既存の GNSS 観測装置を改良し、無人航空機からのマイクロ波受電およびデータ送信可能な小型省電力の観測・監視装置の試作機の屋外実験を11月および1月に行った。4mの高さからマイクロ波を受電し、それをトリガーとして記録データを無人航空機に無線 LAN を用いて送信・回収することに成功した。ただし、マイクロ波受電した電力量は少量であったため、データ送信に使用した電力は、別電源を使った。

データ送信回収機能は、距離10mまでは高速に回収可能であり、低速ではあるが距離60mまでは可能であることが判明した。無線 LAN カードの伝搬特性は筐体の素材に強く依存することがわかり、筐体を電波透過性の高い物にするか、無線 LAN カードを筐体外に取り出す必要があることが分かった。

作成した GNSS 観測装置の試作機の追加実験を室内で行ない、使用している無線 LAN カードの伝搬特性・方位依存性や消費電力を調査した。また、上空から照射されたマイクロ波が、GNSS 装置の受信感度に干渉しないことを確認した。無線 LAN カードの消費電力に関しては通信時に意外と大きい0.4~0.5Wの電力を消費することがわかり、カードスロットの電源設計に注意しないと、無線伝送が不安定になることがわかった。

地震観測については、センサーとして使う地震計を検討した。最近は、広帯域高ダイナミックレンジの地震計も開発・販売されているが、消費電力や扱いやすさを考えると、固有周波数が数 Hz の動コイル型地震計が火口周辺の観測には適切と判断された。また、近年では低消費電力の空振計も販売されることから、精密な微気圧計との性能の比較検討をおこなった。その結果、この低消費電力空振計も地震計と同様に接続して空振動を観測できることがわかった。しかしながら、GNSS 装置試作・試験で判明した無線 LAN カードの筐体内で電波放射特性や意外と大きい消費電力問題を地震観測の収録・転送機能に反映させる期間および予算が不足したため、当初計画に入っていた地震観測装置の改良には着手できなかった。また GNSS 装置の筐体の素材に改良が必要であることが判明したため、当初計画に入っていた GNSS 装置の屋外耐久試験は実施できなかった。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) マイクロ波送電に関わる技術実験

伊豆大島火口原において機器を搭載した無人航空機の屋外初の飛翔実験を行い、マイク

ロ波送電性能の測定および観測データ回収技術の確認実験を実施した。無人航空機から発射したマイクロ波を、地上の温度センサーが受電し、その電力を使用して測定データを送信することに成功した。

しかしながら、使用アンテナの関係から、当初目標としていた送受電効率 10%を達することはできなかったため、今後は送信周波数を変更して高効率化をはかるとともに、出力ビームを絞った狭域照射用のアンテナを作成して、送受電効率の向上を検討する。

2) 小型省電力の火山観測装置の開発

既存の GNSS 観測装置を改良し、無人航空機からのマイクロ波受電およびデータ送信可能な小型省電力の観測・監視装置の試作機を作成し、距離 60m までのデータ回収に成功した。

無線 LAN カードの伝搬特性は筐体の素材に強く依存することがわかり、筐体を電波透過性の高い物にするか、無線 LAN カードを筐体外に取り出す必要があることが分かった。また無線 LAN カードは 0.4~0.5W の電力を消費することから、そのカードスロットの電源設計に注意を払う必要があることが分かった。

GNSS 装置試作・試験で判明した課題を地震観測装置に反映させる期間および予算が不足したため、当初計画に入っていた地震観測装置の改良には着手できなかった。また GNSS 装置のさらなる改良が必要であることが判明したため、当初計画に入っていた GNSS 装置の屋外耐久試験は実施できなかった。

次年度以降は GNSS 装置を耐候性に改良し、屋外耐久試験を行うとともに、地震観測装置の試作を行う。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
松島 健	空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発	「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」技術開発に関する研究会	平成 29 年 3 月 10 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成29年度業務計画案

送電効率を向上するために、放射ビーム幅の狭いギガヘルツ帯マイクロ波送電・受電装置のアンテナの設計試作をする。製作し送受信アンテナを用いて電波暗室内で放射パターンや伝送効率の測定実験を実施する。実際の無人航空機フライトを想定して、アンテナが正対していない場合や傾いている場合などでの伝送効率も調べる。屋外での実験を行うためには、総合通信局にアンテナデータを提出申請して許可を受ける必要があるため、そのためのデータも取得する。

地上に設置する火山観測用デバイスとして、GNSS 観測・地震観測用装置の設計・製作を行う。GNSS は比較的データ量が少ないのでデータ回収に必要な時間や電力が少なくすむ。地震観測装置については、装置から回収するデータ量が多く、回収に必要な電力量も増えるために開発がやや難しい。しかし火山性地震の監視については、火山活動状況把握に重要な役割をなすことから、本課題での実用化を優先させる。データ伝送方式は一般の市販品を流用できる 2.4GHz の無線 LAN を使う方針で設計製作をすすめる。各センサーとのインターフェースは消費電力が小さく、汎用性も大きいシリアル有線通信を使用する方針で進める。試作した機器を使って、空中からデータ回収する実験を行う。通信が無線 LAN 方式であれば、屋外でも免許取得の必要がないため、制約なく屋外実験を実施することが可能である。

無人航空機の自律航法精度の検証を行う。上空からマイクロ波を送電して地上で効率良く電力を受けるためには、無人航空機の位置精度が 1 m 以内であることが望ましい。現状の自律航法装置の位置決定精度を実際の飛行実験で検証する。現場の自律航法装置は GPS 衛星のみを使用しているため、位置精度は数 m 程度となることが想定される。地上装置の上空に正確に無人航空機をホバリングさせる方式を検討する。地上装置側からビーコン等の誘導シグナルを放出する方法、映像によりパターンマッチングを行う方法について、検討をはじめ。また今後打ち上げが行われる予定の準天頂衛星を使う事により、位置精度が GPS 衛星のみの場合より 10 倍以上向上することが期待されており、自律航法ユニットに組み込むことができないかの検討をはじめ。

4. 活動報告

4. 1 会議録

平成 28 年 11 月 1～6 日

場所：大島温泉ホテル

時間：随時

出席者：松島、藤原、勝亦、足立、今津、篠原、小川（菊池製作所）、久保（ガルトエアロサービス）、小野（オリエンタマイクロウェーブ）

会議内容：伊豆大島におけるマイクロ波送受電およびデータ回収実験およびその結果の検討

平成 28 年 11 月 25 日

場所：電子メール交換

時間：随時

出席者：松島、藤原、今津

会議内容：伊豆大島実験の報告書作成について、12月の会議日程について

平成 28 年 12 月 19 日

場所：AP 品川

時間：14:30 ～ 17:30

出席者：松島、藤原、今津、勝亦、足立

会議内容：伊豆大島実験報告書の確認について、電波暗室内実験手順の確認について

平成 29 年 1 月 6～7 日

場所：レインボー桜島（鹿児島市）

時間：随時

出席者：松島・井口・西垣プロジェクト・アドバイザー

会議内容：桜島におけるマグマ活動発展過程の研究集会に出席しての情報収集、および桜島におけるフライト実験や来年度以降の活動方針について協議

平成 29 年 1 月 7～9 日

場所：京大生存圏研究所

時間：随時

出席者：藤原・勝亦

会議内容：マイクロ波送受電装置の試験および検討

平成 29 年 1 月 28 日

場所：AP 品川

時間：09:00 - 12:00

出席者：松島、藤原、足立、今津、勝亦

会議内容：伊豆大島実験報告の確認、京都大学で実施する実験の内容の確認、無人航空機仕様の報告

平成 29 年 2 月 6～11 日

場所：京大生存圏研究所

時間：随時

出席者：松島、藤原、足立、勝亦、今津、西垣 PM

会議内容：マイクロ波送電装置・データ回収装置の試験および検討、次年度以降の開発計画について

平成 29 年 2 月 27 日

場所：文部科学省

時間：12:00～13:00

出席者：松島・藤原

会議内容：平成 28 年度報告書の取りまとめについて、平成 29 年度の事業の方針

平成 29 年 3 月 1 日

場所：翔エンジニアリング

時間：10:00～17:00

出席者：藤原、手操

会議内容：マイクロ波送電装置の設計、チューニング調整作業の協議

平成 29 年 3 月 28 日

場所：電子メール交換

時間：随時

出席者：松島、藤原、勝亦、足立、今津

会議内容：平成 29 年度の事業の方針、4 月のフライト実験について

4. 2 対外的発表

平成 28 年 11 月 4 日 伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム 「空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置 Wildpot システムの開発について」(口頭発表)

平成 29 年 1 月 27 日 次世代火山研究推進事業 全体キックオフシンポジウム 「空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発」(口頭発表)

平成 29 年 2 月 15 日 次世代火山研究・人材育成総合フォーラム(第 1 回)(ポスター発表)

平成 29 年 3 月 10 日 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」技術開発に関する研究集会 「空中マイクロ波送電技術を用いた火山観測・監視装置の開発」(口頭発表)

5. むすび

屋外での無人航空機からのマイクロ波送受電およびデータ回収実験に日本で初めて成功した。4m 上空に停止した無人航空機から発射したマイクロ波を地上の温度センサーが受電し、その電力を使用して測定データを無人航空機側に送信することができた。

しかしながら、今回の実験では時間的制約のため広域照射用の送電アンテナを使用せざるを得ず、その送受電効率が 1% に満たなかった。このため温度センサーより大きな送電電力が必要な GNSS センサーをマイクロ波送受電から起動することができず、データ送信には別の電源が必要となってしまった。

来年度以降は、狭域照射タイプのマイクロ波送電アンテナを設計しその製作を行う。マイクロ波の送電ビームを狭くすることで、地上装置側の受信アンテナが上空から送られてきたマイクロ波のエネルギーを効率良く受信できるようになる。そのほか、マイクロ波～電力の変換効率もあげることで、システム全体の送受電効率を当初の目標としている 10% 以上にすることを目指す。

また、地上に設置する GNSS 観測装置や地震観測装置の改良を行い、低電力でも動作し、データを送信できるように改良することが必要となる。

さらにマイクロ波送電アンテナを狭域照射化するため、無人航空機も数 cm の精度でホバリングする必要がでてくる。このための誘導装置の開発や GNSS 自律航法装置の高精度化の検討が必要となってくる。

平成 31 年度までには、すべての問題が解決した試作機を完成させ、実際の活火山で長期間の屋外運用に耐える実用的な火山観測システムの構築に繋げていきたい。