

2014 年度伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム 実施報告書

伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム実行委員会

代表連絡先

佐伯 和人

〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-1

大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

電話 06-6850-5795

FAX 06-6850-5480 (代)

電子メール ksaiki@ess.sci.osaka-u.ac.jp

目次

1. シンポジウムの目的と概要	P. 3
2. 日程	P. 5
3. 実証試験報告	P. 6
4. 講演会企画報告	P. 13
5. まとめ	P. 15

1. シンポジウムの目的と概要

目的

伊豆大島三原山では先の噴火から 20 年以上が経過し、次の噴火について考え・準備しておく必要のある時期になっています。1986 年の噴火では爆発的な噴火が発生し、また、カルデラ底や更にはカルデラの外など、思いもかけない地点での活動になりました。そのため、噴火地点には近寄ることができず、噴火現象の科学的理解や災害軽減のための貴重なデータを調査観測する機会を逸しました。このような状況をもたらした理由の一つとして適切な観測技術の未発達が挙げられます。従って、次の機会には、貴重なデータを観測する態勢を十分に構築しておく必要があると考えられ、とりわけ遠隔操作、無人、不整地走行などの要素を重視した新しい観測用移動体の開発とそれに基づく機動的な対応が望まれます。このような移動体は特に宇宙研究分野で進展しており、火山分野における技術開発に対しても貴重な経験を与えてくれるはずです。一方、宇宙分野では実際の火山などにおけるフィールド実験の経験が乏しく、火山と宇宙との両分野が協力することによってお互いに格段の進展が図られるはずです。本シンポジウムは、このようなことを念頭において企画されております。噴火まであまり時間が残されていないかも知れない今日、宇宙探査や、地球環境計測など、さまざまな分野から、無人観測車（UGV）や無人観測飛行機（UAV）を開発しているグループが伊豆大島に集まり、火山地形での運用実証試験を行いつつ情報交換することで、次の伊豆大島噴火に間に合うように、火山防災や火山活動観測に本当に役に立つロボットと実質的な運用態勢を短年月で完成させることをめざしています。

概要

シンポジウムは、主として無人観測ロボット野外実証試験と、コア日程プログラムとに分かれています。野外実証試験は、環境省から許可を得た期間の内、各研究グループが好きな日程を選んで開発中のロボットの野外実証試験を行います。コア日程ではシンポジウム参加者が一堂に会し、情報交換や講演会を行います。また、2014 年度は 2013 年度に引き続き東京大学地震研究所での研究会も行いました。

2014 年度の委員会メンバー

委員長 佐伯和人 (大阪大学)

委員 (所属名五十音順)

久保田 孝 (宇宙航空研究開発機構)

大槻 真嗣 (宇宙航空研究開発機構)

金子 克哉 (京都大学)

石上 玄也 (慶應義塾大学)

國井 康晴 (中央大学)

永谷 圭司 (東北大学)

2. 日程

- ・シンポジウム研究集会 11月8日（土曜日）

場所：大島温泉ホテル 大広間

- ・講演1 「御嶽山の水蒸気爆発の状況解説と、伊豆大島で水蒸気爆発が
起こるケースの状況考察」 金子克哉（京都大）
- ・講演2 「伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムのこれまでの経緯と成果」
佐伯和人（大阪大）
- ・座談会「大島噴火時にロボットを活用できる局面とは」
実践的にロボットを活用するための方法を、参加者で議論した。
- ・各グループのロボット・実験紹介
- ・来年度以降の活動についての相談

- ・実証試験 許可期間 11月3日（月曜日） から 11月21日（金曜日）まで

場所：裏砂漠、および三原山

- ・講演会 2015年1月26日（月曜日）

場所：東京大学地震研究所 （東京都文京区）

- ・講演1 講師：伊豆智幸（株式会社エンルート）
講演内容：最新のマルチコプター運用動向
- ・講演2 講師：永谷圭司（東北大学）
講演内容：マルチコプター運用事例紹介
- ・講演3 講師：物部周平（コーンズテクノロジー株式会社）
講演内容：UAV向け撮像素子の紹介＋赤外線カメラのデモ

3. フィールド実証試験報告

I.	宇宙航空研究開発機構（久保田 孝）実証試験報告	P. 7
II.	大阪大学（佐伯 和人）実証試験報告	P. 8
III.	慶應義塾大学（石上 玄也）実証試験報告	P. 9
IV.	中央大学（國井 康晴）実証試験報告	P. 10
V.	東北大学（永谷 圭司）実証試験報告	P. 11

なお、京都大学グループ（代表者：金子克哉）の研究課題

「火山観測用無線操縦自走式センサー「ほむら」による三原山火山裏砂漠および火山体斜面の走行試験」は、不整地斜面で直進走行を自律的に行うための実証試験を、裏砂漠フィールドにて行うことを予定していたが、その機能の組み込みを実証実験期間までに行うことができなかったため、本年度の実証試験を取りやめた。

I. 宇宙航空研究開発機構 実証試験報告

研究グループ代表者：久保田孝 (宇宙航空研究開発機構)

研究グループ班員所属機関：宇宙航空研究開発機構、東京大学

研究課題：「火山地域における移動探査ロボットの探査活動試験」

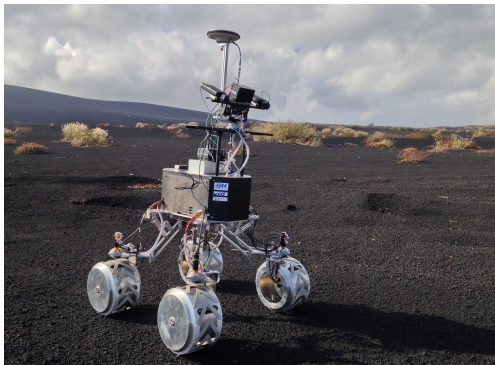
ロボット名：AKI

実証試験実施期間：11月4日(火)～11月10日(月)

実験概要：

月惑星の表面移動探査の技術応用として、災害時の火山地帯の無人観測が考えられる。その観点から探査ローバの試験機 **AKI** を用いて伊豆大島裏砂漠における走行試験を行った。今回の試験では、電力制約を考慮した移動探査、自然地形における走破性向上、信頼性の高い航法誘導の実現という目的からデータ取得及び実証を行った。昨年度より大型化した車輪で伊豆大島の独特な地形を走行できることを確認した。

実験写真・図



写真の説明：

1：AKI全体像

2：集合写真

II. 大阪大学 実証試験報告

研究グループ代表者：佐伯和人（大阪大学）

研究グループ班員所属機関：大阪大学

研究課題：「飛行ロボットによる自律飛行試験」

ロボット名：Skypoint-1

実証試験実施期間：2014 年 11 月 9 日（日）、10 日（月）

実験概要：

昨年度までの試験で自律飛行ができることは確認されていたので、今年度は、三原山山頂周辺および、裏砂漠を横断するルートを飛行し、突然のカルデラ内噴火の際に火口周辺を空撮することができるかどうかを検証する計画であった。ところが、実験初日の強風下で、これまで自律飛行に成功していたシステムでも風に吹き流され、かつ手動での着陸に失敗して本体を壊してしまった。その後、実験期間内に修理し、プロペラ直径を大きなものに変更することで、強風下でも自律飛行できることが確認できた。

また、今回は4輪駆動のレンタカーの数が足りず、裏砂漠に4輪駆動車で入ることができなかったが、ハイキングルートから徒歩で裏砂漠に入り、マルチコプターを運用することで、コンパクトな運用体制の訓練ができた。

先行しているエンルートや東北大グループのマルチコプター利用技術にはまだまだ追いついていないが、現場で最低限の運用するところまでは可能となった。

実験写真・図：

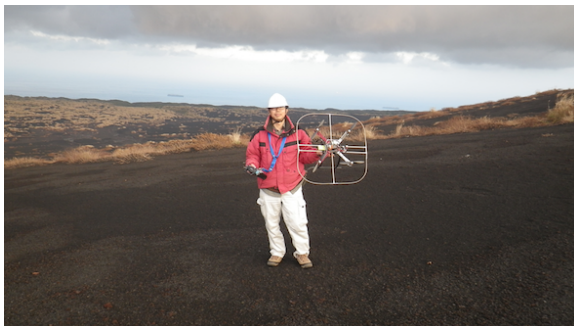


図 1

図の説明：

1：飛行ロボット Skypoint-1

III. 慶應義塾大学 実証試験報告

研究グループ代表者：石上玄也（慶應義塾大学）

研究グループ班員所属機関：慶應義塾大学 理工学部 機械工学科

研究課題：「ロボット搭載環境認識センサの実証試験および自己位置推定実験」

ロボット名：Cuatro

実証試験実施期間：11月7日（金）～11月10日（月）

実験概要：本研究グループでは、不整地上を走行する探査ロボットの研究開発を行っている。特に、ロボット搭載用を想定したレーザ測距方式による小型環境認識センサ

（Laser Range Imager: LRI）の開発に昨年度より取り組んでいる。これまでは、ロボット静止状態での計測にとどまっていたが、本年度は長距離を移動しながらの計測を実施した。図1に示すように、噴石の大きさや植生の分布状況などの3次元距離データに加え、対象物からの光の反射輝度をも安定的に計測可能であることを実証した。また、本実証実験では、従来のGNSS用の大型のアンテナや受信機を用いることなく、移動ロボット搭載の小型GNSS、IMU、オドメトリのカップリング処理によって、高精度な自己位置推定手法の評価試験に取り組んだ。図2に示すように、IMUとオドメトリに基づく経路推定の統計処理から、同実験における推定精度の定量的な評価および考察に取り組んだ。

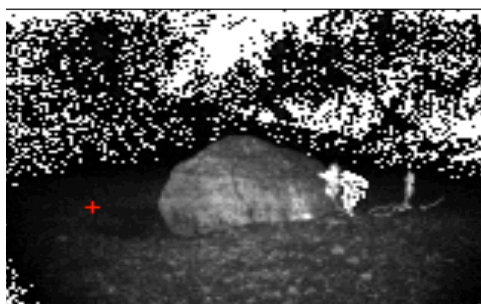


図1（左）：LRI，（右）計測した反射輝度画像

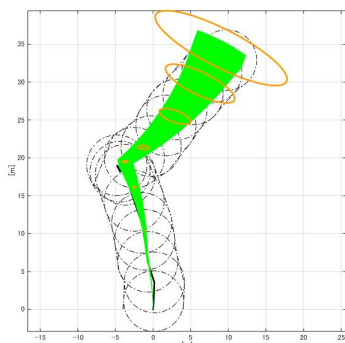


図2：ロボットの移動経路推定結果



図3：グループ集合写真

IV. 中央大学 実証試験報告



代表者：國井康晴（中央大学）

研究グループ班員所属機関：中央大学

研究課題：「火山活動地域におけるロボットを用いた遠隔操縦試験」

ロボット名：Micro6-02

実証試験実施期間：2014 年 11 月 10 日（月）～11 月 14 日（金）

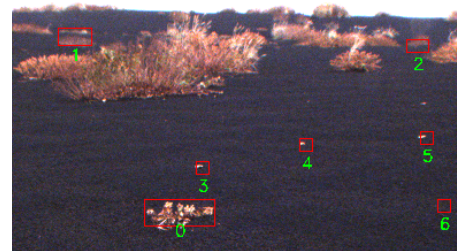
実験概要：

ロボットによる探査技術を用いて火山活動の状況などを調査するため、遠隔地にいる操縦者により、ロボットを目的地へ誘導するための遠隔誘導方式と遠隔操縦様のソフトウェアの運用試験と運用技術の評価を行なった。実験では、周囲環境計測用ステレオカメラによる環境計測における自然環境に対するロボバースト性と起伏のある地形に対する視認性の評価を行なった。そして自律障害物回避機能と操縦者による遠隔操縦機能とそれらの融合システムの評価を行なった。また東京都心と三原山間における携帯電話回線を使用した遠隔操縦実験を実施し、通信回線の安定性と遠隔操縦システムの運用性の評価を行なった。その結果、全体的に良好に機能する事が分かったが、雲の移動、砂の移動の周囲環境計測への影響、また火山性地形や草木などにおいて一部視認性に問題がある事が判明し、また携帯通信回線の不安定性に対する対策の必要性など、今後の課題として認識できた。

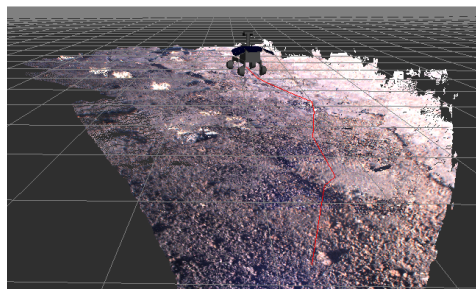
実験写真・図：



< 走行中の Micro6-02 >



< 自動特徴地形認識 >



< 作成された 3 次元マップと遠隔制御データ通信量 >

V. 東北大学 実証試験報告（その1）

研究グループ代表者：永谷 圭司（東北大学）

研究グループ班員所属機関：東北大学

研究課題：「ハイブリッド通信系による2台のロボットの協調探査試験」

ロボット名：El-Verde, CLOVER

実証試験実施期間：2014年11月6日（木）

実験概要：

山体の凹凸などにより電波が遮られ、通信が確立しない領域にロボットが入り込んでしまうと、ロボットの運用ができなくなってしまう。この問題を解決するため、本研究では、2台のロボットを使用し、2種類の回線を用いたハイブリッド通信系による協調探査手法を提案し、三原山での実証試験を行った。利用した移動ロボットは、車輪型移動ロボットEl-Verdeと小型移動ロボットCLOVER（図1）である。本試験で利用した通信は、広域通信可能な3G回線と近距離で高速通信が可能な2.4GHz無線LAN回線(IEEE802.11g)であり、1台の広域無線が途切れた際には、ロボット間の無線LAN回線を用いて通信を確保する（図2）。このシステムを利用し、三原山に抜ける経路に沿って、伊豆大島温泉ホテルより遠隔操作を行った。これにより、通信が不安定な環境においても、ハイブリッド通信を利用することで、通信が途切れることなく2台のロボットの遠隔操作を運用することができた。一方、2台の移動ロボットのタンデム走行が非常に困難であるという問題も判明した。

実験写真・図：



図 1

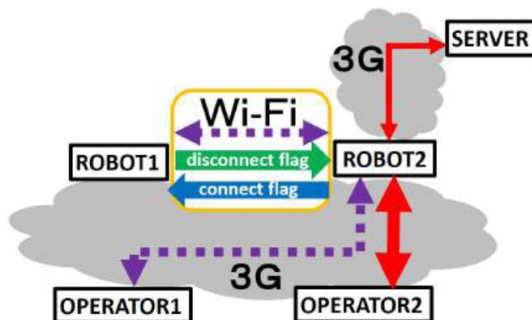


図 2

図の説明：

1：タンデム走行を行う CLOVER（右）と El-Verde（左）

2：広域無線が途切れた場合のハイブリッド通信の通信経路

V. 東北大学 実証試験報告（その2）

研究グループ代表者：永谷 圭司（東北大学）

研究グループ班員所属機関：東北大学

研究課題：「マルチロータ機搭載型土砂採取機構による土砂採取試験」

ロボット名：Zion560

実証試験実施期間：2014 年 11 月 7 日（金）

実験概要：

火山噴火の際、土石流を予測するためには、立入制限区域内に積もった火山砕屑物を採取し、分析することができれば、火山泥流の発生予測の精度が非常に高くなる。そこで、本試験では、飛行ロボットによる区域内的の火山砕屑物のサンプルリターン試験を三原山付近の裏砂漠にて行った。利用するロボットは、ZionPG560（図1）ならびに、これに取り付けた土砂サンプリング装置（図2）である。飛行ロボットは、GPS航行により、指定された地点の上空まで飛行し、そこから降下することで、つり下げた土砂サンプリング機構を着地させる。着地後、土砂サンプリング機構が動作し、サンプリングを実施した後に、飛行ロボットは上昇し、元の地点まで飛行する。本試験では、およそ300m離れた地点から上述の動作を行い、目標地点において、少量の砂利を取得することができた。これにより、提案する装置の有用性を確認することができた。なお、この試験でサンプリングした砂利は、元のサンプリング地点に返却した。

実験写真・図：



図 1

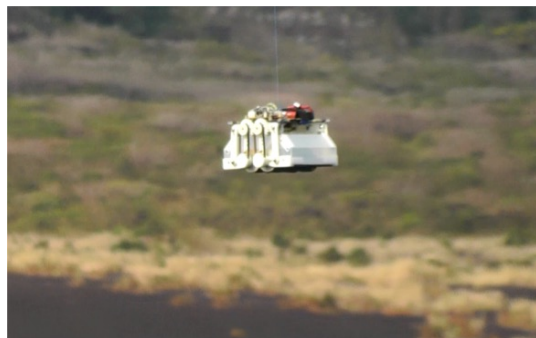


図 2

図の説明：

1：飛行ロボット ZionPG560

2：ローラー回転式土砂サンプリング装置の降下の様子

4. 講演会企画報告

11月8日に大島温泉ホテルで行われたシンポジウム講演会では、以下の2つの講演会と座談会が行われた。講演1「御嶽山の水蒸気爆発の状況解説と、伊豆大島で水蒸気爆発が起こるケースの状況考察」金子克哉（京都大）では、水蒸気爆発のメカニズムの説明や御嶽山の状況が説明され、大島でも同様な水蒸気爆発が起こる可能性が十分にあることや、その予測が難しいことが説明された。次に。講演2「伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムのこれまでの経緯と成果」佐伯和人（大阪大）でシンポジウム活動のこれまでの整理した後、座談会「大島噴火時にロボットを活用できる局面とは」を行い、実践的にロボットを活用するための方法を、大島町の方も含めた参加者で議論した。大島では昨年度の土石流災害を経験したばかりであったので、災害現場でいかに人手が足りなくなり、観測ロボットの運用をする余裕がなくなるかを改めて認識することになった。操縦訓練が必要なロボットや、現場の人員に負担をかけるようなロボットではいざと言う時に役には立たないということである。今後のロボットの開発の方向性や、運用方法、実証試験の課題設定を練り直す必要があろう。

この後、各実証試験グループの実験計画紹介や成果紹介が行われた。また、研究発表のみの参加として、筑波大学の三河正彦氏より「小惑星探査のための複数ローバシステムの通信評価実験」というタイトルでの講演があり、火山観測に役立てるアイデアについて議論が行われた。

1月26日の地震研研究会では、マルチコプターに関する情報交換を行った。近年、火山観測の即戦力として実用できそうなマルチコプターが多数開発され、利用者も急増している一方で、マルチコプター運用での事故例も耳にするようになり、安全運用のための知識と対策が必要であることが痛感される。そこで、実際に運用する時の様々な課題を掘り下げて議論しようということで、以下の3講演をしていただいた。

講演1) エンルート・伊豆さんの最新のマルチコプター運用動向

講演2) 東北大・永谷さんのマルチコプター運用事例紹介

講演3) コーンズテクノロジー・物部さんの UAV 向け撮像素子の紹介＋赤外線カメラのデモ

講演1) では、マルチコプターの飛行原理から、自動操縦の仕組み、これまでの運用実績、現在開発中の新機能、安全性を向上させるための各種の工夫など、現場の最先端で活躍されている伊豆さんならではの豊富な経験をベースとした

情報満載の講演であった。マルチコプターの導入を検討している参加者からの多数の質問にも答えていただいた。

講演 2) では、永谷チームが火山フィールドで行っている取り組みを紹介していただいた。桜島の空撮や、浅間山での小型 UGV をマルチコプターで運搬したのちリリースする実験、火山灰等火山噴出物を UAV で採取する実験など実践的な運用例が多数紹介された。

講演 3) では、UAV に使えそうな小型の撮像素子やジンバル付きカメラなどの紹介をしていただいた。また、赤外線モジュールは実機のデモもあった。

本研究会には初参加の火山学者も複数おり、ロボットシンポジウムの活動がまだまだ火山学者に知られていないので、どういことができているかを学会等でもっと積極的にアピールすべきというご意見をいただいた。逆に火山学者のニーズを積極的に工学者にアピールする場も必要ということで、今後の活動の宣伝方法や、情報交換のあり方について考えさせられた。また、マルチコプターに関しては、平常な大島でできることは限られているので、活火山で実践しながら、大島の来るべき噴火のために運用ノウハウを還元していく体制への変化が必要であることが再認識された。

5. まとめ

本実証試験は、2013 年度までに 5 年間（5 回）、伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムとして開催され、2014 年度は 6 回目となる。2013 年度より東京大学地震研究所の特定共同研究(B)の援助を受け、参加グループの伊豆大島の実証試験の費用負担が大きく軽減された。そして、それ以上に組織が地震研の共同研究プロジェクトとして外部に説明しやすい体裁を得たことは、環境省や国土交通省、気象庁等と今後の連携態勢を構築する上で大きな意義を持つ。一方、昨年度の台風 26 号が引き起こした大規模な土石流災害の爪痕は各所に残されており、裏砂漠の地形も大きく改変されたままである。そのような状況下、本年度の大島での実証試験大会が企画された。

裏砂漠の地形は昨年度の大雨で大きく変化して 4 輪駆動車でも走行困難な場所が増えた。さらに 4 輪駆動車のレンタカー台数そのものも被災により減少しているため、実験メンバーの運搬能力がかなり制限された状態での実証試験となった。そのような悪条件の中も、5 つのグループが実証試験を行うことができた。マルチコプターの発達によって、飛行ロボットは実用化の域に達したと言えそうである。一方で地上ロボットは人間を超えた活躍をするには、さらなる技術開発が必要ではあるが、不整地走行などの基本的研究は着実に成果があがっており、実際に何に使うかという点が中心的な課題となってきた。本シンポジウムは、当初より、工学者と火山学者の情報交換を重視して来たが、参加メンバーも固定化されてきており、情報交換の場としての目的はほぼ達成された。また、エンルートや東北大（永谷）チームのように桜島等で実践的な活動を始めているグループが出てきた事は素晴らしい成果である。そのようなチームにとっては、平穏な大島で実験する工学的な意義は薄れ、むしろ、運用面や制度面での新しい展開を模索する時期になっているようだ。今後は、大島での実証試験を唯一の試験機会とするのではなく、むしろ他の活動的火山で運用の実績を積み、観測データを火山学の成果としていかに活用していくか、そして、観測実績をいかに伊豆大島観測に還元するか、という新たな視点による実験計画が重要になると考えられる。

謝辞

無人観測ロボットシンポジウム開催には多くの方がたのご助力やご支援をいただきました。大島町役場の皆様、東京都庁大島支庁の皆様、環境省の皆様には、特別保護地区で実証試験をするための許可申請から実際の実証試験に至るまで、実現に向けた様々なアドバイスや手続き処理をしていただきました。大島温泉ホテルの方々には、実験グループの宿泊に関して、ロボット準備場所の提供など様々な便宜を図っていただきました。また、大島のレンタカー業者の

皆様には、土石流災害に被災されレンタカー供給が難しい中、実証試験にご協力いただきました。ご協力いただいた皆様に感謝いたします。

本実証試験大会および、地震研研究会講演会は、東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助を受けました。