

ドローンなど UAS 搭載機器による大気・植生・地形の計測技術

○岡本 渉、山崎 高幸、藤森 隆彰^{A)}、中西 幸弘^{B)}

^{A)}名古屋大学全学技術センター計測・制御技術支援室 観測技術グループ

^{B)}名古屋大学全学技術センター装置開発技術支援室 精密加工技術グループ

概要

筆者は、大気汚染観測や植生、地形の計測研究を技術支援している。地上や観測船上での観測技術のみならず、ドローンなどの UAS (Unmanned Aircraft Systems) を使い上空の大気観測を行う 3 次元の観測技術の開発を行っている。また、生命農学研究科や他大学・高専との共同研究で森林生態系の管理・調査や地下の洞窟探査などに関して、ドローンなどの UAS を使用した計測技術開発を行っている。搭載機器はレーザースキャナや赤外線カメラなど多岐にわたる。さらにそれらの計測機器の活用のための、ドローンの改造や新たなドローン飛行技術（森林の樹間や洞窟内などの非 GPS 環境の飛行法）の開発も行っている。現在の大気観測では、リアルタイムでエアロゾル・ガス成分計測を行う。PM2.5 に関しては、粒子の直径が $2.5\mu\text{m}$ という定義のみであり、構成している成分については考えられていない。リアルタイム計測では得られない分析を行うために、サンプルを収集し解析システムにかける必要がある。エアロゾル収集装置の開発を進めており、小貝川・菅生沼山焼きでサンプルを収集した。収集したサンプルは、あいち SR BL6N1 において分析した。今までに得られない興味深い知見を得ている。また、今年から ID 発信器の搭載、ドローンの免許制度導入、中国製ドローン禁止など大きな動きがある。高専連合のドローン探査シミュレーションに参加している先進的 UAV 研究事業 AeroFlex は、純国産 UAS 開発を目指し、様々な機体の提供を始めている。ここでは、それらの活動を紹介する。

1 レーザースキャナによる CAVE 探査

レーザー・ライダーは自動運転車などに搭載され、リアルタイムでの周囲の 3 次元計測に欠かせない装置となっている。近年では、Apple iPad をはじめ、10 万円前後の安価な機器が利用できるようになってきた。写真測量を応用した SfM/MVS 撮影による 3 次元モデル製作は近年多くの分野で利用されている。筆者も、ドローンによる自動飛行、ローバー搭載カメラ、人間が持ち運ぶスタビライザなどで 3 次元モデルを製作してきた。カメラの 4k、6k、8k など高解像度化にともない、動画による製作の方向も模索している。しかし、原理的に可視領域の波長による制約、ダイナミックレンジの限界、狭小領域の隙間に遮られるなどの問題がある。高専連合との共同開発により、大型ドローン (Matrice600) にレーザースキャナを搭載し、開発を重ねてきた。現在、レーザースキャナは 4 型となり、ドローンのみならず、ローバーにも搭載され運用されている。

ドローンによる縦穴の探査・計測

伊東大室山山麓(穴ノ原溶岩洞穴) レーザースキャナ測定



図 1. Matrice600 とレーザースキャナ

2 様々な UAS と、その連携

UAS (Unmanned Aircraft Systems)は単純に空を飛ぶドローンだけではない。地上を走るローバー、水中を潜る水中ロボットとの連携を目指している。秋吉台において、大型ドローン (Matrice600) へローバーを搭載し、ドリーネまで飛行して地上探査を行い、さらに回収をした。人間が侵入できないような荒れ地へ、ドローンによって空からアクセスする。地上を走行するローバーには様々なセンサを備え付け、探査後は再び回収する。これがローバーのみの場合、現場まで到達するのが困難な局面が多い。空から探査ポイント近くは運ばれることにより、ローバーの活動時間も大幅に延びる。これは単純に、太陽電池パネルを備えた環境測定固定局の設置にも利用できる。実際に運用テストを行った段階では、様々な課題が浮かび上がった。ローバーの走破性による活動範囲の狭さに加え、ドローンへ乗り込む際の操縦にもいくらかの熟練を要した。この例のように、空→陸のみならず、陸→空、陸→空→陸のような組み合わせも考えられる。ここの機体のデータリンクも、これからの課題である。また、非 GPS 環境での UAS は非常に不安定である。これを解消するには、疑似 GPS 環境の構築や機体のビジョンシステムによる安定化が求められる。筆者は昨年末、壱岐の黒崎砲台跡地下で、非 GPS の ATTI モードで DJI Mavic2Pro の飛行を行った。これにより、地下空間の 3 次元モデルの構築に成功している。

2-2. ドローンによる縦穴の探査・計測

伊東大室山山麓(穴ノ原溶岩洞穴) レーザースキャナ測定

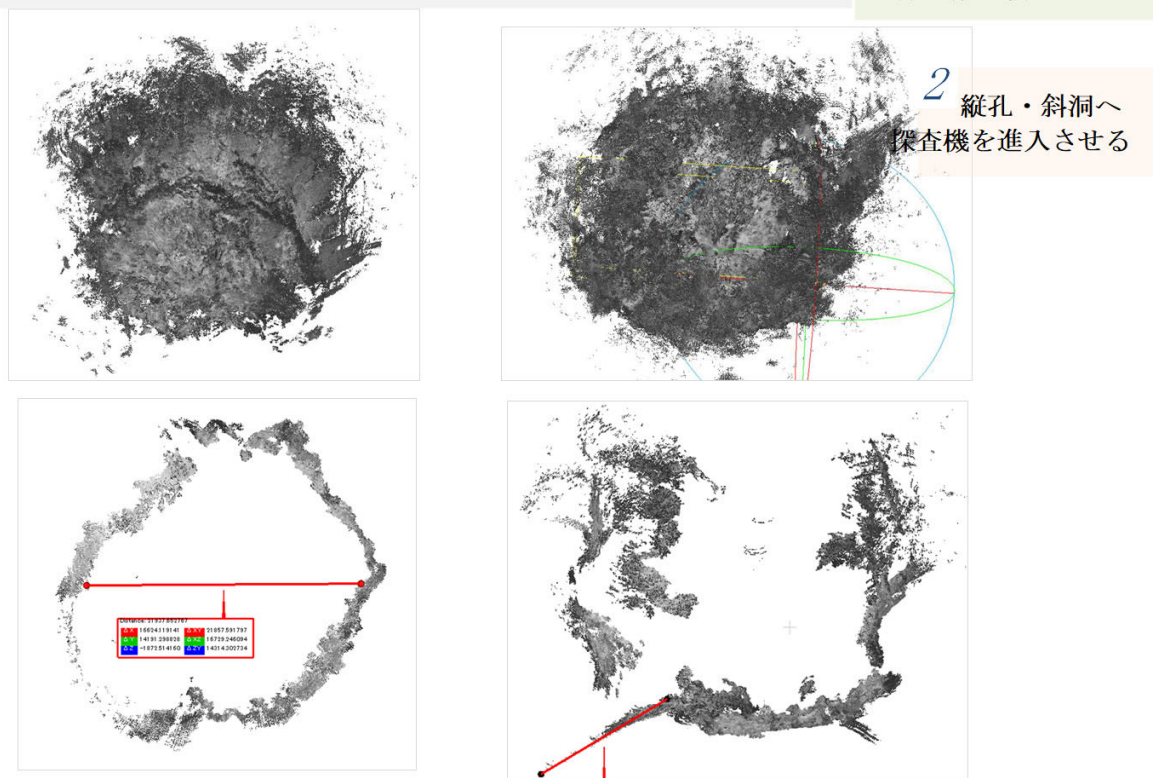


図 2. レーザースキャナによる 3 次元モデル

洞窟計測探査シミュレーションプログラム

秋吉台南(科学博物館北) 地上走行ロボットのドローン輸送

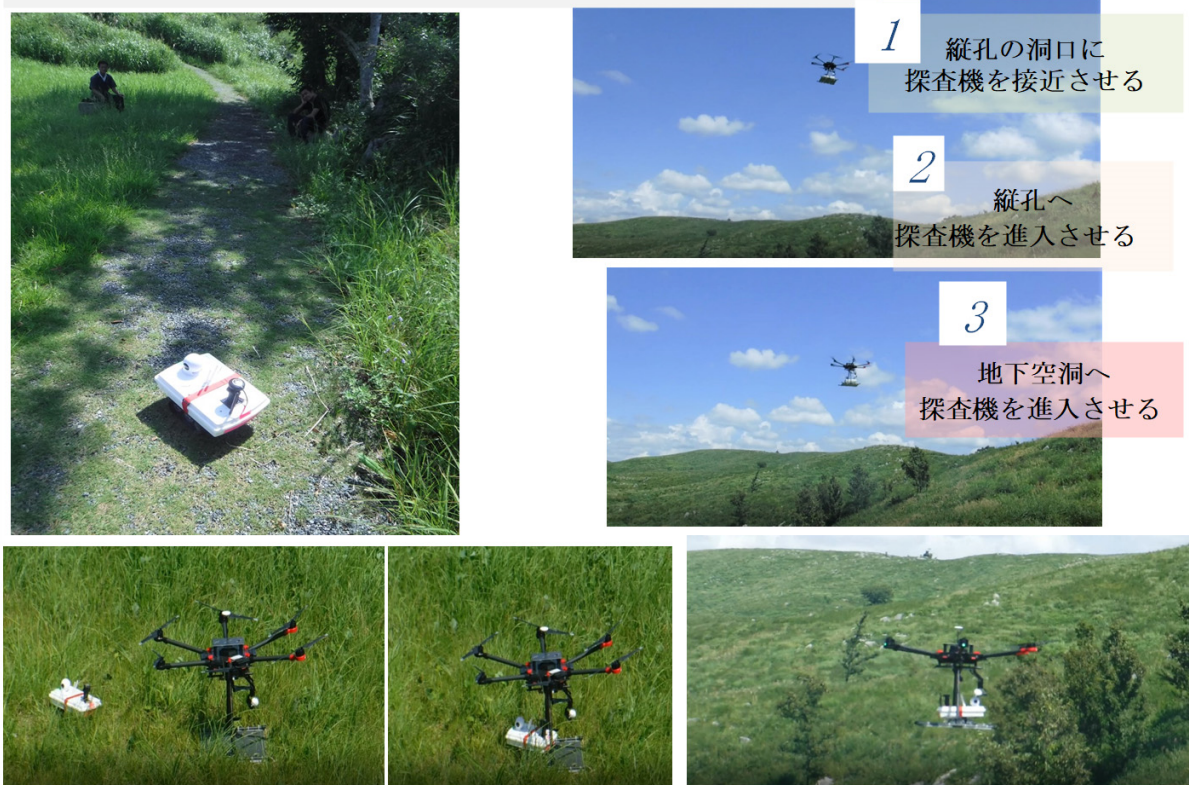


図 3. Matrice600 とローバー

高専連合をはじめとする洞窟シミュレーションプログラムでは、様々な UAS のみならず、ローバー、地上走行ロボット、水中ロボットを運用している。NHK との共同による地底湖ロボット探査も行い、その模様は、全国区のおはよう日本で放送された。秋芳洞での NHK ドローン部隊のクラッシュから国の規制が厳しくなり、CAVE での飛行が制限されている。GPS 環境での RTK プログラムでは、様々な UAS のみならず、ローバー、地上走行ロボット、水中ロボットを運用している。名大環境研氷河藤田教授が進めている PPK も、これから取り入れていく。秋芳洞での NHK ドローン舞台のクラッシュから国の規制が厳しくなり、CAVE での飛行が制限されている。GPS 環境での RTK などによる精度の向上は、土木・建築関係を中心に進められている。共同研究者たちも、RTK ポールの運用を日常的に行うようになってきた。これを応用して、非 GPS 環境下での疑似 GPS 環境の構築が喫緊の課題となってきた。

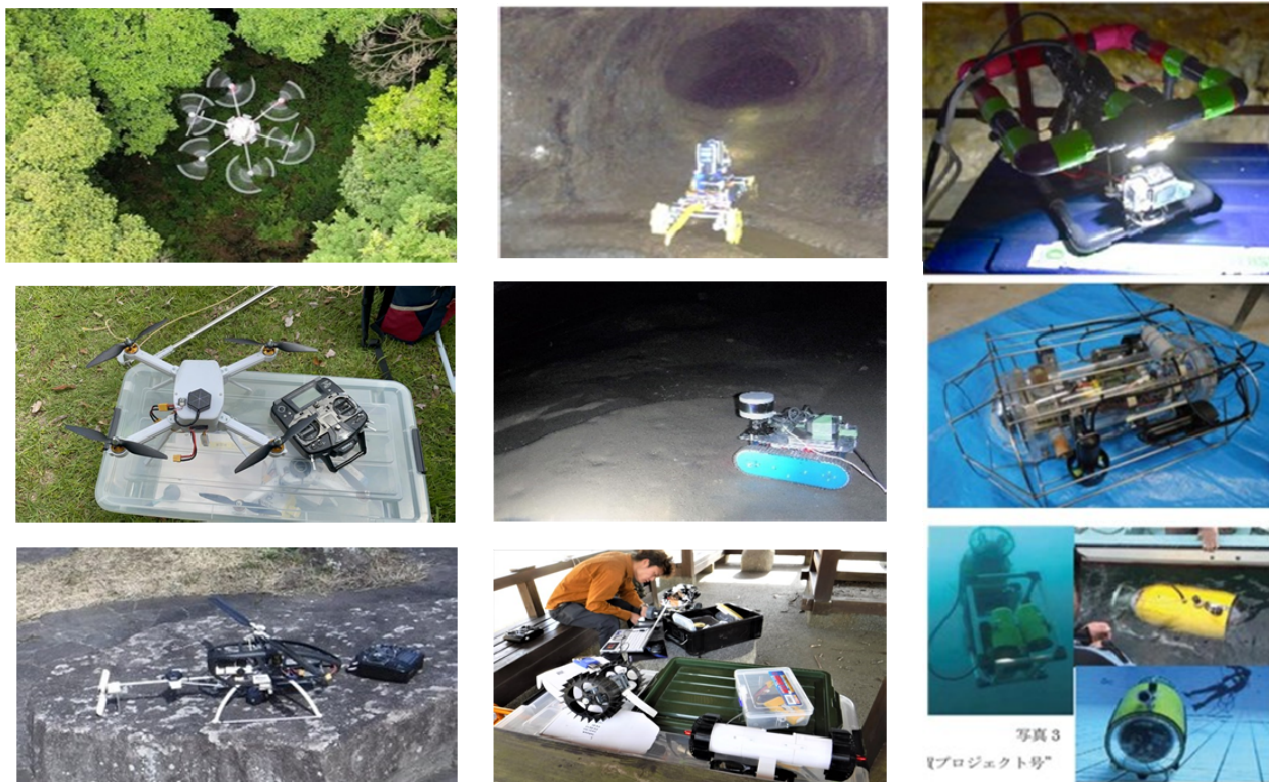


図 4. 陸海空のロボットたち

3 UAS によるエアロゾル収集

名大宇宙地球環境研究所松見グループでは、Panasonic と共同開発した小型 PM2.5 センサを使い、固定局のみならず個人暴露計、UAS 搭載の測定装置を運用している。また、最近ではそれに加え、英国 Alphasence 社の電気化学センサも大気観測装置に組み込んでいる。これによるエアロゾル、ガス成分のリアルタイム観測が可能になった。しかし、エアロゾルに関しては、その粒径による分類だけである。単純に $2.5\mu\text{m}$ の粒径を持ったものには、様々な成分が考えられる。工場から出る煤煙には硫黄成分を始め、有毒な成分が多いであろう。また、地下鉄はレールと車輪の摩耗により、意外と PM2.5 成分が多い。しかし、此方はほとんどが鉄分で占められると思われる。森林に個人暴露計を持ち込むと、意外と数値が上がることに驚く。それに反して、人間が体感するのは爽やかなものである。フラボノイドなどが多いと予想される。

これらのことを定量的に計るためには、実際にその雰囲気です料を採取して解析しなければならない。筆

者は、先進的 UAV 研究事業 AeroFlex と共に、UAS 搭載可能なエアロゾル収集装置を運用している。こちらは、一定高度で電磁バルブの開閉を行い、ファンによりエアロゾルを吸引する。現在は、フィルターとしてガーゼを用い、一定時間吸引したエアロゾルを吸着させている。このエアロゾル収集装置を、DJI Phantom4 に搭載して運用している PM2.5 個人曝露計を搭載しているものと同様、5m紐によってつるしている。ドローンによるローター風の影響を避けるためである。個人曝露計は 700g ほどの重さであった。DJI Phantom4 のペイロードは 1kg 強だが、実際には 700g の個人曝露計搭載で風に流されることも多かった。こちらのエアロゾル収集装置は、紐、バッテリーを含めて 240g である。また、宇宙地球環境研究所藤森氏が開発した Arduino による PM2.5 測定器の重さは、130g しかない。これらの軽量測定器により、今までなら風に流されていたような気象状況での運用も可能となっている。実際にエアロゾル収集装置を、2022 年の小貝川・菅生沼野焼きで使用した。野焼きの煙へ、Phantom4 を侵入させ、エアロゾルの収集に成功した。これを共同研究者の未来研八木教授に、あいちシンクロトロンでの解析を行って頂いている。ビームラインは BL6N1 で行い、XAFS 測定により硫黄成分の解析で今までにない知見が得られた。

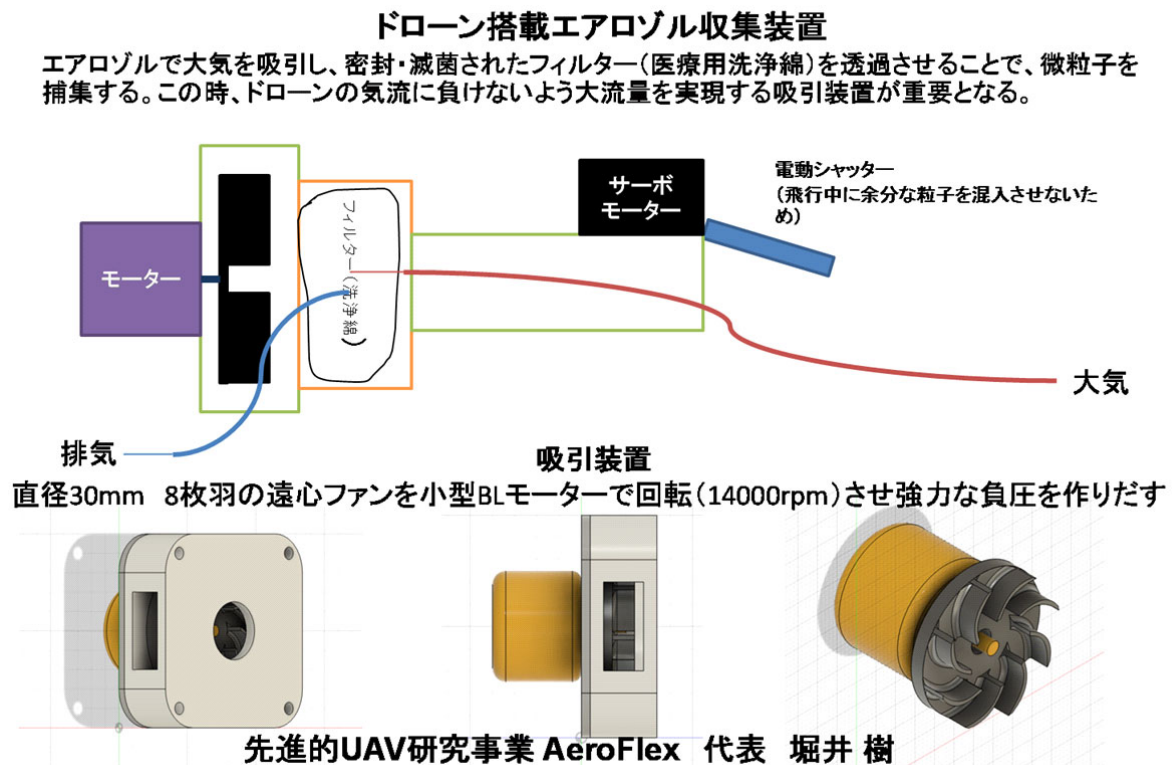
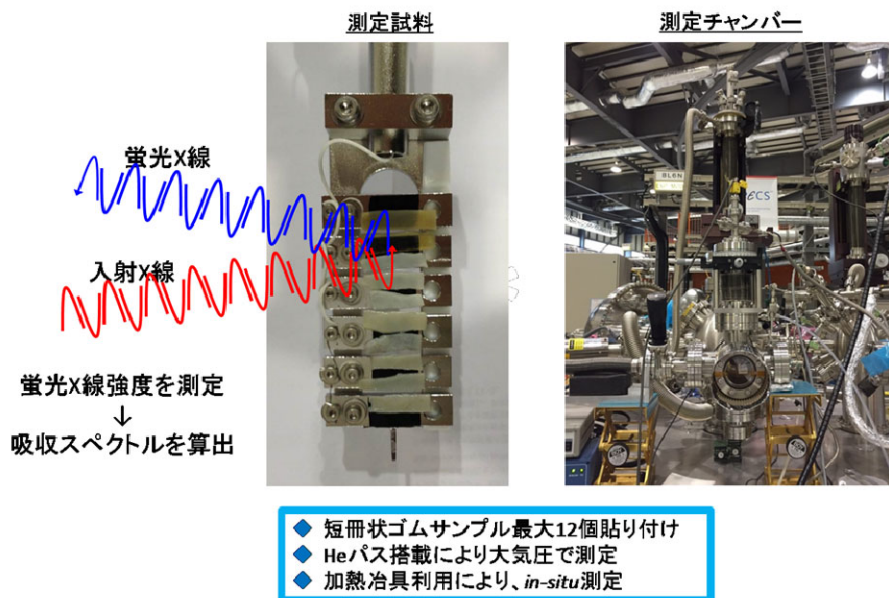


図 5. UAS 搭載エアロゾル収集装置

XAFS測定@あいちSR BL6N1(He-pathシステム)



絶縁体試料や液体試料の分析が可能:エアロゾルの化学状態分析が可能

図 7. BL6N1 における XAFS 測定の様子

4 日本製 UAS の開発



先進的UAV研究事業 Aero Flex
もっと空の近くに



開発機体の紹介 小型測量用UAV「Ibis」



諸元

- ・ 全長 300mm
- ・ 全幅 350mm
- ・ 重量 1600g
- ・ 飛行時間 12分

- ・ 測量用小型ドローン
- ・ 重量1600g
- ・ Go-Proカメラによる写真測量が可能
- ・ 専用カメラにより10倍ズーム観測も可能



自動航行可

AeroFlex公式ホームページ <https://horiitatsuki.wixsite.com/website>

図 8. 小型 UAS Ibis



先進的UAV研究事業 Aero Flex
もっと空の近くに



開発した機体の紹介 ヘリ型UAV「Flex2」



- 可変ピッチシングルフローターにより、乱気流に強い
- 風速10m/sまで飛行可能
- 小型機器の輸送、観測用など多用途運用が可能



諸元

- 全長 600mm
- 重量 1300g
- 飛行時間 18分
- 自動航行可

AeroFlex公式ホームページ <https://horiitatsuki.wixsite.com/website>

図9. ヘリ型 UAS Flex2



先進的UAV研究事業 Aero Flex
もっと空の近くに

開発した機体の紹介 中型UAV「Pathfinder X」



- 多用途中型UAV
- 自動航行可能
- 最大ペイロード7kg
- フェイルセーフ機能多数搭載

諸元

- 全長 170mm
- 全幅 170mm
- 重量 5.4Kg
- 自動航行可
- 飛行時間 20分



AeroFlex公式ホームページ <https://horiitatsuki.wixsite.com/website>

図10. 中型 UAS Pathfinder X

洞窟シミュレーションプログラムで活動を共にしている筑波大4回生堀井樹氏が、2021年12月より、先進的 UAV 研究事業 AeroFlex を立ち上げた。現在すでに内閣府のプロジェクト二つを請け負っている。2022年から中国製ドローン禁止に伴い、国公立大学や研究機関での多くの需要が見込まれる。現在筆者の共同研究者数名が購入済みであり、開発・改良を同時に進めながら運用を行っている。Sony の中型機や小型ドローン蒼天の高価格により、多くの研究者からオファーを受けている。DJI にないレーザーを使った高度計などの特許もあり、森林や CAVE での今までにない運用の可能性も秘めている。小型測量用「Ibis」は DJI Phantom 相当の機体であり、非 GPS 環境の樹間や CAVE では、新世代レーザーライダーとの連携が期待される。単ローターのヘリは、4 発クアッドコプターより 40%ほど効率が良い。これらの他、eBeex の代替になる固定翼も製作予定である。

5 まとめ（考察と今後の課題）

現在は怪しいパンデミック騒ぎと共に、西側誘導によるウクライナ紛争も進行中である。UAS をはじめ、多くのロボット兵器が投入されている。まさに一寸先は闇の状態の中で、明るい未来を信じ、UAS の平和利用を進めていくことは小職のみならず一般市民の務めであろう。

海外のみならず、国内出張もままならない現状ではあるが、開発や探査の手を止めないで多くの技術者・研究者と連携を深めていきたい。

6 問合せ先

本稿の作成および提出に関する問い合わせ等は、下記までメールでお願いいたします。

問合せ先 : w.okamoto@nusr.nagoya-u.ac.jp

参考文献

[1]

第 65 回宇宙科学技術連講演会 OS-15 月惑星の縦孔・地下空洞探査 UZUME 計画
2021 年 11 月 12 日（金） OS-15-6 10:40-12:00 4K07 口頭発表
「UAV を組み込んだ火星の縦孔-地下空洞探査構想と穴ノ原溶岩洞穴における進入離脱飛行実験の解析」
○岡本 渉（名大）, 眞部 広紀（佐世保工業高専）, 久間 英樹（松江工業高専）, 堀江 潔, 大浦 龍二（佐世保工業高専）, 堀井 樹, 阿依 ダニシ（筑波大）

[2] 旧軍港四市 鎮守府日本遺産シンポジウム

口頭発表

「黒崎砲台地下施設跡のドローン飛行探査実験 ―観光資源化に向けて―」

○岡本 渉, ○堀江 潔（佐世保工業高等専門学校 基幹教育科）