

グローバルリテラシーを培う分野横断融合教材 ～縦孔-地下空洞の地球アナログ地形と地下文化遺産～

眞部 広紀**1, 堀江 潔**1, 大浦 龍二**1, 前田 貴信**2, 毛利 聡**3,
久間 英樹**4, 岡本 渉**5, 松広 航**6, 阿依 ダニシ**7, 堀井 樹**8

Field Crossing Fusion Teaching Materials. for Cultivation of Glocal Literacy: Earth Analog Terrains of Vertical Hole with Underground Caverns and Underground Built Heritages

Hiroki MANABE**1, Kiyoshi HORIE**1, Ryuji OHURA**1, Takanobu MAEDA**2, Satoshi MOHRI**3,
Hideki KUMA**4, Wataru OKAMOTO**5, Ko MATSUHIRO**6, Danish AI**7, Tatsuki HORII**8

Key words: Vertical Hole, Underground Cavern, Earth Analog, Underground Built Heritage

Abstracts

In this paper, we report earth analog experiment sites and UZUME project for cultivation of glocal literacy.

1. はじめに

佐世保工業高等専門学校的一般教養教育部門である基幹教育科は、2022年度(令和4年度)から3年生の学生を対象として、少人数ゼミの形式で実施するグループワーク授業「グローバルリテラシー」を開始した。授業目標の学生向けの表現は「世界的な文脈(グローバル)に地域(ローカル)なものを位置づけながら学び探究する」、即ち、

- (I) グローバルに活躍するための能力
- (II) 地域の魅力を発信する能力

を身に付けることに設定されている。「グローバル化」(glocalization)は、全世界を同時的に巻き込んでいく「世界普遍化」(globalization)と、地域の特色や特性を考慮していく「地域限定化」(localization)、この2つのトレンドを組み合わせた混成用語である。1980年代に日本企業が営業戦略として都市開発・環

境問題などのジャンルにおいて「地球規模の大きな視野を持ちながら、各地域の環境・慣例に配慮する」という意味で使い始めたとされる。ここで授業目標(I)は「国際対話能力」「地球的視点の知識・素養、情報の分析力・発進力」、即ち「グローバルリテラシー」(global literacy)の獲得にある。ここで「リテラシー」(literacy)は、「識字率」「書き言葉を正しく読み書きできる能力」「読解記述力」という原義的・古典的な意味だけでなく、現在は「適切に理解・解釈・分析して記述・表現する」という使われ方をする用語である。日本語の「リテラシー」は、原義的な「識字率」などとは区別されている。近年では、ジャンル・分野・領域ごとにリテラシーがあるとされ、「メディアリテラシー」(media literacy)、「ネットリテラシー」(net literacy)、「デジタルリテラシー」(digital literacy)、「コンピューターリテラシー」(computer literacy)など、「～リテラシー」のように組み合わせて使用されている。「送り手の情報の意図を見抜いて、受け手への悪影響を回避する能力」というセキュリティの意味を含める場合もあり、「情報リテラシー」(information literacy)が該当する。

「グローバリズム」は、人類の影響の及ぶ領域を「地球の地表面の近辺」、即ち、幾何学的には「極めて薄い球殻(globe)」に束縛される「地球儀的な(global)な世界」を前提としている。天然資源や20世紀の地政学はこの閉じた2次元的な世界に限定された上で議論されるため、21世紀前半に生きる人類のリテ

* 原稿受付 令和4年10月31日

**1 佐世保工業高等専門学校 基幹教育科

**2 佐世保工業高等専門学校 電子制御工学科

**3 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科

**4 松江工業高等専門学校 電子制御工学科

**5 名古屋大学 全学技術センター

**6 早稲田大学大学院 先進理工学研究科

**7 東北大学大学院 工学研究科航空宇宙工学専攻

**8 先端的UAV開発事業 Aero Flex

ラーシーを培う観点では、グループワーク授業の教材・テーマとして滋養が不足している。しかしながら、宇宙開発・宇宙産業に関わる「ローカリズム」を重層的に組み込むことで、これからの宇宙開拓時代を生きていくエンジニアの教材にすることができる。例えば、北海道の大樹町^{1,3)}、九州の大分県⁴⁾のように、宇宙港（スペースポート）の実現に動く自治体が挙げられる。これらは宇宙空間と地球外天体に通ずる地球(1)上の出入口（場所）(2)をテーマとする。

高専大学連携研究ネットワーク『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』と『旧軍港市学術調査研究会』は、地球外天体の「縦孔-地下空洞」の直接探査の実現を目指す『UZUME (Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon/ Mars Exploration 古今未曾有の日本の月/火星地下世界探査) 計画』⁵⁾と連携して国内の探索を幅広く行い、「縦孔-地下空洞」の類似地形や類似環境を吟味してきた。候補地には『UZUME 計画』直接探査のシミュレーション実験を実施済みのものも多い⁶⁾。これらは地球外天体と地球(1)に共通する調査価値の大きい探査対象（場所）(2)をテーマとするものである。本稿では、2022年11月現在の「UZUME 用実験サイト」の一部と関係する取り組みを「グローバルリテラシー」の教材として紹介する。

2. 実験サイト（理学側向け）

日本の月軌道探査機「かぐや（SELENE）」や米国の月軌道探査機「LRO」、火星軌道探査機「MRO」の地形カメラ画像をはじめとした精細画像の解析により、月・火星の地表面に巨大な縦孔が検出・認知され（図1）、その底部に繋がる長大な地下空洞の存在が推定されている。地球外天体に発見された「縦孔-地下空洞」は人類にとって未踏のフロンティア、探検・学術調査の対象であるだけでなく、太陽フレア・宇宙線の被曝、隕石・デブリの衝突から防護される天然のシェルターであり、温度変化の幅が少ない地下空間は人類拠点・基地の候補地である^{7,8)}。国内ではJAXA 宇宙科学研究所の研究者らを中心とした『UZUME 計画』のワーキンググループによって、「縦孔-地下空洞」の直接探査プロジェクトに向けた取り組みが進められている。しかしながら、2022年11月現在も「縦孔」は側壁・底部が未知であり、「地

下空洞」内部はほとんど未知であるため、地球に存在する類似した地形・環境の情報をもとにして類推せざるを得ない。「縦孔-地下空洞」の類似地形のモデル候補として、溶岩流の中に形成される溶岩洞窟、とくに、溶岩チューブ洞窟（横穴）と天井部が崩落開口した「天窗」（縦穴）が注目されている（図2）。

『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』では、当初、理学（サイエンス）側の見地に立ち、長崎県五島市「井坑」（図3）、山梨県富士河口湖町「富士洞穴」（図4）、静岡県伊東市「穴の原溶岩洞穴」（図5）など、国内の溶岩洞窟の調査を行ってきた。

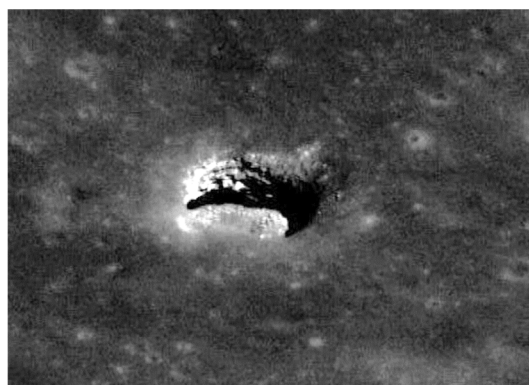


図1 月面の「マリウス丘縦孔」 ©NASA/ASU

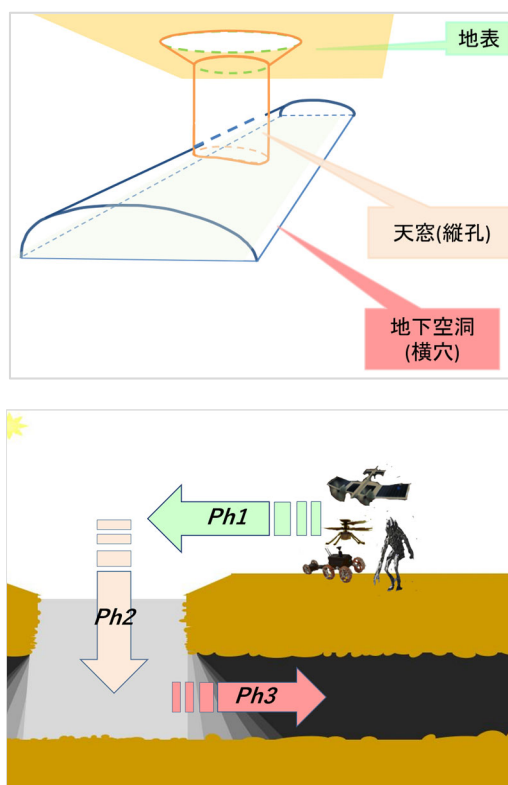


図2 「縦孔-地下空洞」模式図



图3 「井坑」



图4 「富士風穴」

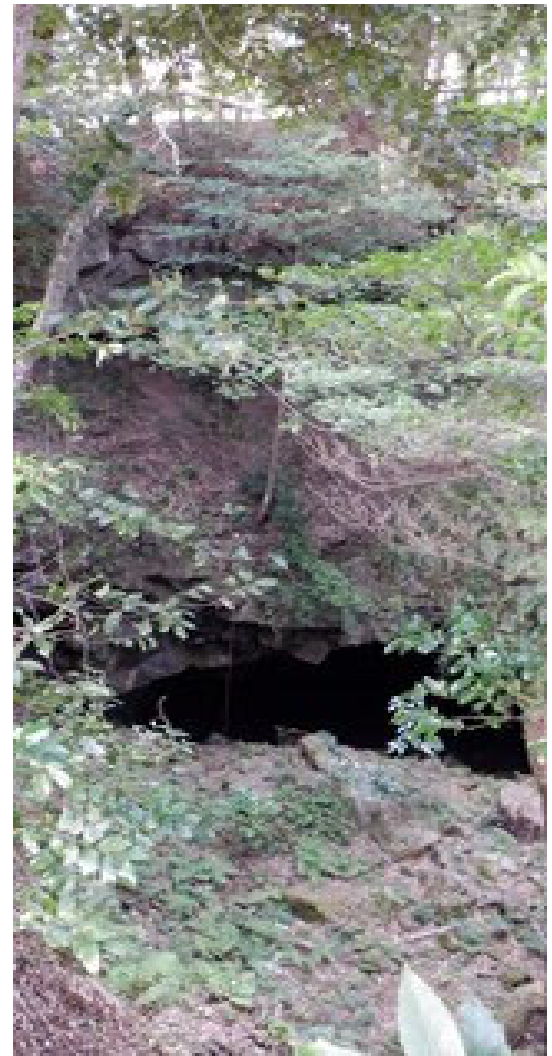


图5 「穴の原溶岩洞穴」

3. 実験サイト（工学側向け）

月・火星の「縦孔地下空洞」直接探査は、GPS などの屋外の衛星測位システム、屋内の無線 LAN ネットワークなどの情報通信インフラストラクチャが利用できない非 GPS 環境・非ユビキタス環境を想定した直接探査システムの試作機の開発は、実験室の中だけでは完結できない。類似地形に赴いて、移動・計測を項目とする性能実証実験を行うことが必須である。工学（エンジニアリング）側にとっては地質の要素よりも形状の要素に重点を置くことから、性能実証実験に使用可能な類似地形や部分類似地形は溶岩洞窟に限定されない。福岡市北九州市平尾台「牡鹿洞」（図 7）などの石灰岩洞窟、鹿児島県曾於市「溝の口洞穴」

（図 8）などの凝灰岩洞窟も対象とした。さらに『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』では、直接探査のミッションを三つの移動フェーズ：

Ph1: 縦孔の検知、縦孔周辺・口縁部への接近

縦孔内部の観察・計測

Ph2: 縦孔内部への降下・着底、

側壁・地下空洞の入口（洞口）付近の観察

Ph3: 地下空洞内部への進入

に分けることを提案した^④（図 1 下）。

しかしながら、「縦孔-地下空洞」の三つのフェーズ部分をすべて備えていて、交通アクセスの良い好適地は見つからなかった。そこで、基準を緩和して、1つのフェーズか 2つのフェーズを備えている場所（本稿では部分類似地形と称する）を組み合わせ、3つのフェーズすべてをカバーする実験シリーズに方針転換した。近年は同ネットワーク『旧軍港市学術調査研究会』の協力を得て、同県老崎市「黒崎砲台跡」

（図 9）、神奈川県横須賀市「千代ヶ崎砲台跡」（図 10）、同県横浜市金沢区「野島掩体壕」（図 11）、栃木県宇都宮市「大谷資料館地下採石場跡」（図 12）など、天然の洞窟だけでなく日本遺産を含む人工洞窟や地下文化遺産にも対象範囲を拡大している。

理学（サイエンス）側の視点で見ると、「UZUME 用実験サイト」は天然の洞窟（溶岩洞窟、石灰岩洞窟、凝灰岩洞窟）と人工の洞窟（遺跡、地下文化遺産など）の文理融合テーマである。さらに、直接探査実験機の視点が加わることで、工学（エンジニアリング）側が融合した分野横断テーマになる。

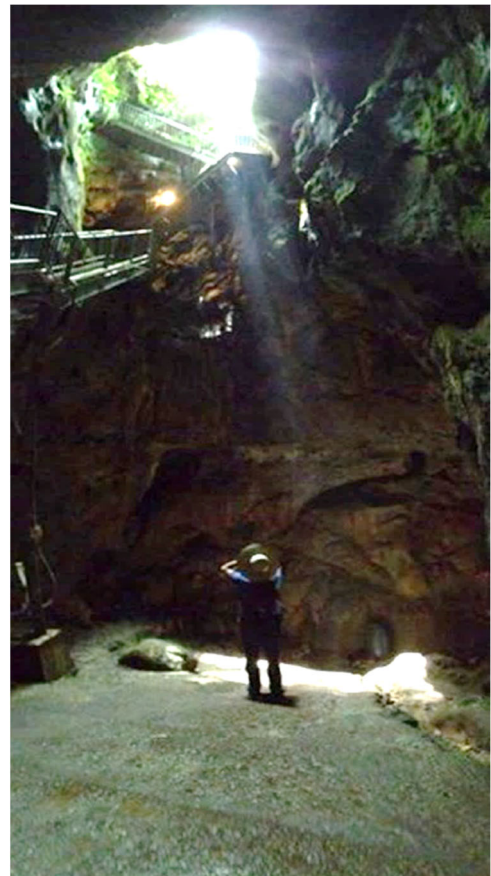


図 7 「牡鹿洞」



図 8 「溝ノ口洞穴」



图9 「黒崎砲台跡」



图10 「千代ヶ崎砲台跡」



图11 「野島掩体壕」

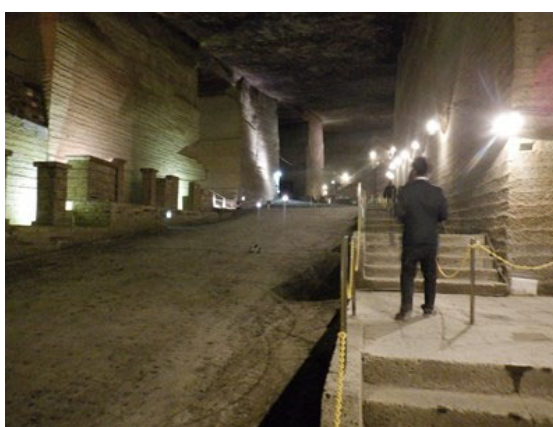


图12 「大谷資料館地下採石場跡」

4. 実験サイト（研究継承/エントリー向け）

数十年先、百年以上先を射程に入れた長期プログラムである日本航空宇宙学会の『JSASS 宇宙ビジョン2050』^{7),8)}に「縦孔・地下空洞」探査は組み込まれている。研究ネットワークの『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』と『旧軍港市学術調査研究会』は、『UZUME 計画』に携わっている研究室や協力機関に対して、技術・スキル・見識の継承を目的とした支援体制を構築している。また、『UZUME 計画』に新規参入する大学、大学院、工業高等専門学校（本科・専攻科）の研究室、企業には、地下空間の径が小さい、エントリー向けの実験サイト（例：島根県松江市大根島「竜溪洞」（図13）、熊本県阿蘇市「米塚風穴」（図14）、長崎県佐世保市宮「無窮洞」（図15）、大分県臼杵市「赤猫洞（屋敷余り特殊地下壕）」（図16）を紹介し、現地実験の実施に協力している。



図13 「竜溪洞」

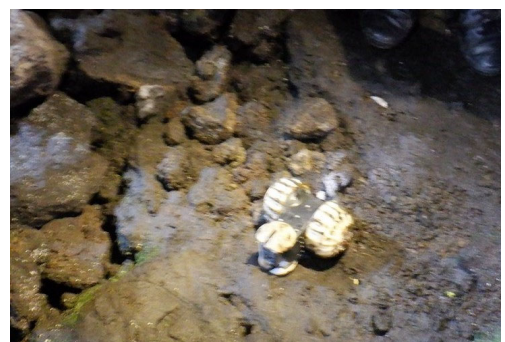


図14. 「米塚風穴」

上, 中上, 中下 : UZUME 阿蘇巡検 2022

下 : 小型2輪型ローバ走行実験

「YAOKI」™ (株式会社ダイモン)

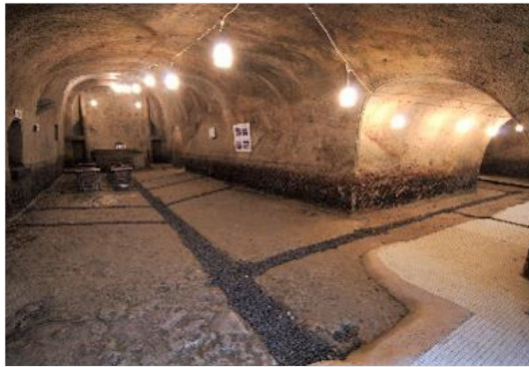


图 15 「無窮洞」

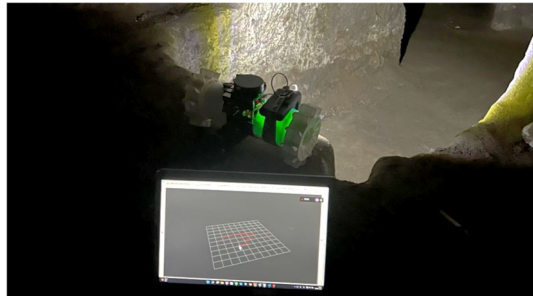


图 16 「赤猫洞」 (屋敷余り特殊地下壕)

径が小さい地下空間で実験するメリットは実験機が小型の機体で済む点にある。地下空間の径が大きくなれば、実験機に搭載ライトは空間の規模に見合うだけの大きな光量が必要になり、消費電力も大きくなり、そのためのバッテリーの容量・サイズ・重量も大きくなり、搭載する機体も大きいものが必要になる。また、スキャナのレーザーの到達距離から外れるオクルージョンが多くなるので、それを避けるため到達距離を大きくするにはスキャナも大きな機種が必要になり、ライトの場合と同様にバッテリーも大きくなり、搭載する機体も大きくなる。小型の機体のまま運用するには、地下空間内の移動経路を上手く選択する必要があるが、処理が複雑になるため新規参入を企図する研究室の実験向きではない。以上の理由で、エントリー向きとして径が小さい場所が適している。技術継承の場合も、大規模な地下空間を経験していない新規メンバーの慣熟用として径の小さい実験サイトを推奨している。実験機が大規模地下空間に見合う性能レベルに達し、メンバーの経験やスキルが十分に蓄積できた研究チームには、『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』と『旧軍港市学術調査研究会』が連携して、多段階実験サイトシリーズ C の実験プログラム⁹⁾を『UZUME 計画』へのゲートウェイとして提供する (図 17)。

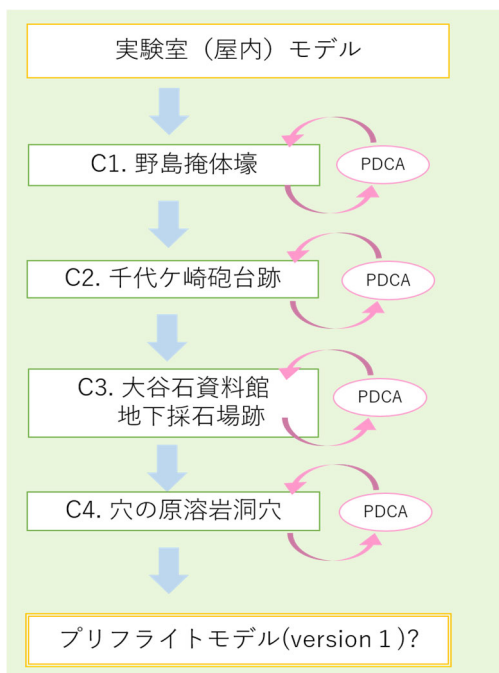


図 17 実験の多段階化と実験サイトシリーズ

5. 実験以外の支援

実験以外の支援体制のプロトタイプとして、今年度 (令和 4 年度) の「グローバルリテラシー」授業では『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』、『旧軍港市学術調査研究会』の関係者を招聘して、学生対象のオプション講習会を開催した。1 回目は 9 月 1 日に遠隔授業 (図 18) で「ドローン+3D モデル処理」の座学、2 回目は 9 月 22 日に実習でドローン操縦と「ドローン+学生製作メカ」の実験 (図 19) を行った。



図 18 講習会 (遠隔)

上、中上: 午前の部 (堀井担当、ドローン)
中下、下: 午後の部 (久間担当、3D モデル)



図 19 講習会（実習）
 上：学生製作メカ（堀井担当）
 下：ドローン測量講習（堀井担当）

『UZUME 計画』が目指す月の「マリウス丘の縦孔」（図 1）や「静の海の縦孔」、火星の「Arsia Mons の縦孔」など、「縦孔-地下空洞」の形状は明らかに立体的である。視点が固定されている従来の 2 次元イメージのセット（平面図、正面図、側面図）では「縦孔地下空洞」を表現するには不十分であり、定量的な解析や研究は困難である。自由視点が選べる 3 次元モデルは精細な白地図として定量的な研究基盤に適しているだけでなく、形状の安定性の計算シミュレーションにも使用することができる。また、VR、AR、ロボット探査シミュレータの素材として期待できる。3 次元モデル（3D モデル）への展開は多岐に渡り、リアルな実験サイトと両輪の関係にある。

参考文献

- 1) 大樹町役場企画商工課航空宇宙推進室,
 “宇宙のまち”大樹町これまでの歩み
<https://www.town.taiki.hokkaido.jp/soshiki/kikaku/uchu/aerospace.data/202104ayumi.pdf>
- 2) 大樹町役場企画商工課航空宇宙推進室,
 令和 3 年度航空宇宙に関する活動報告書
https://www.town.taiki.hokkaido.jp/soshiki/kikaku/uchu/aerospace.data/R3_report.pdf
- 3) JAXA,
 大樹航空宇宙実験場リーフレット
<https://www.jaxa.jp/projects/pr/brochure/files/centers17.pdf>
- 4) 大分県
 （交通政策課空港企画班，先端技術挑戦課宇宙開発振興班），
 大分空港・宇宙港将来ビジョン（本編）
<https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/2162434.pdf>
- 5) 春山純一 河野功，西堀俊幸，岩田隆浩，山本幸生，
 桜井誠人，大槻真嗣，諸田智克，石上玄也，
 月火星の地下空洞直接探査リサーチグループ，
 古今未曾有の日本の月/火星地下世界探査(UZUME)
 計画
 日本惑星科学会誌 Vol. 29, No. 3, 2020
<https://www.wakusei.jp/book/pp/2020/2020-3/2020-03-115.pdf>
- 6) 眞部広紀，久間英樹，稲川直裕，前田貴信，
 堀江潔，大浦龍二，岡本渉 他，
 月と火星の縦孔-地下空洞を目指すための
 地球における洞窟計測探査シミュレーション
 佐世保工業高等専門学校研究報告，第 56 号，pp77-93，
 2020.
<http://id.nii.ac.jp/1416/00000876/>
- 7) 日本航空宇宙学会，
 JSASS 宇宙ビジョン 2050（2021 年 7 月）
<https://www.jsass.or.jp/wp-content/uploads/2021/08/f8f3e1ff5286673fb4cf443bb7d4276d.pdf>

- 8) 日本航空宇宙学会,
**JSASS 宇宙ビジョン 2050 を達成するための
宇宙科学技術ロードマップ
人間が定住する月拠点建設へのロードマップ
【2019年度・2021年度増補】【ロボット】補足資料**
<https://www.jsass.or.jp/wp-content/uploads/2021/09/6baf476a014f9552c89a14ed52289812.pdf>
- 9) 眞部広紀, 久間英樹, 稲川直裕, 吉森聖貴,
岡本渉, 毛利聡, 上寺哲哉, 前田貴信, 堀江潔,
大浦龍二, 阿依ダニシ, 堀井樹,
**縦孔-地下空洞類似地形の探査実験サイトと形状
計測**
第 66 回宇宙科学技術連合講演会,
予稿集 JSASS2022-4672
- 10) 眞部広紀, 久間英樹, 稲川直裕, 吉森聖貴,
岡本渉, 毛利聡, 上寺哲哉, 前田貴信, 堀江潔,
大浦龍二, 阿依ダニシ, 堀井樹,
**UZUME 計画のための縦孔-地下空洞類似地形・環境にお
ける多段階模擬探査実験プログラム**
佐世保工業高等専門学校研究報告, 第 59 号, 2022

謝辞

本調査の一部は、JSPS 科研費 22K18490 の助成を受けて実施した。