



## ムーンショット目標3

2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し  
人と共生するロボットを実現

# 実施状況報告書

## 2022年度版

---

多様な環境に適応しインフラ構築を革新

する協働 AI ロボット

**永谷 圭司**

東京大学 大学院工学系研究科



## 研究開発プロジェクト概要

月面や被災現場を含む難環境において、想定と異なる状況に対して臨機応変に対応し、作業を行うことが可能な協働 AI ロボットの研究開発を行います。2050 年には、この協働 AI ロボットが、人の代わりに、自然災害の応急復旧や月面基地の建設を実現すると共に、この技術が、地上のインフラ構築や維持管理にも役立ちます。

[https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/32\\_nagatani.html](https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/32_nagatani.html)

## 課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
大須賀 公一	大阪大学 大学院工学研究科	教授
鈴森 康一	東京工業大学 工学院	教授
杉浦 恒	ヤンマーホールディングス株式会社 技術本部	グループリーダー
松原 崇充	奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構	特任准教授
高橋 弘	東北大学 大学院環境科学研究科	教授
橋本 毅	土木研究所 技術推進本部	主任研究員
北原 成郎	株式会社熊谷組 土木事業本部	室長
島田 徹	国際航業株式会社 公共コンサルタント事業部	事業企画担当部長
羽田 靖史	工学院大学 工学部	准教授
石上 玄也	慶應義塾大学 理工学部	准教授
永岡 健司	九州工業大学 大学院工学研究院	准教授
上野 宗孝	宇宙航空研究開発機構 宇宙探査イノベーションハブ	技術領域主幹
永谷 圭司	東京大学 大学院工学系研究科	特任教授
竹囲 年延	弘前大学 大学院理工学研究科	助教
倉爪 亮	九州大学 大学院システム情報科学研究院	教授
向川 康博	奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科	教授
岡谷 貴之	理化学研究所 革新知能統合研究センター	チームリーダー
西尾 真由子	筑波大学 システム情報系	准教授
三谷 泰浩	九州大学 大学院工学研究院	教授

## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

### (1) 研究開発プロジェクトの概要

本研究開発プロジェクトでは、月面や被災現場を含む難環境において、想定と異なる状況に対して臨機応変に対応し、作業を継続することが可能な協働 AI ロボットの研究開発を目指している。この目標を実現するため、「1. 土工を革新する AI ロボットシステム」(ハードウェア)、「2. 複数台ロボットの動的協働システム」(複数台ロボットを制御する AI)、「3. 現場を俯瞰するセンサポッドシステム」(センシング技術と環境を評価する AI)という 3 つの研究開発項目を設定し、これらの研究開発項目を並行して進めると共に、2023 年以降にこれらを統合し、想定と異なる状況にも臨機応変に対応可能な協働 AI ロボットシステムの実現を目指す。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施状況

**研究開発項目1(土工を革新する AI ロボットシステム):**土工を革新する協働 AI ロボットのハードウェアやシステムを実現するため、「開いた設計」と呼ぶ新たな機械の設計指針を体系化し、これに基づいた革新的な土工技術を開発することが本研究開発項目の目標である。令和 4 年度は、革新的な土工技術のための要素技術に関する研究開発を行った。以下に、研究開発項目における主要な成果について記す。

「開いた設計」については、大阪大学が体系化を進めた。これにより、開いた設計の要は「如何にして環境と身体との相互作用を活かすか」という陰陽制御の考え方であり、陰陽制御系を設計するためには「環世界制御学」の構築が重要であるとの知見が得られた。

革新的な土工作業に関連し、以下の研究開発を行った。大阪大学は、河道閉塞時に排水ホースを遠隔設置可能な排水ホース敷設ロボットの実証検証機を製作し、九州大学実験フィールドにて実証実験を実施した。東京工業大学は、ツール交換型ハードウェアに搭載可能な、空気圧で動作する「絡みつきグリップ」を開発した。奈良先端科学技術大学院大学では、方策転移学習により、油圧ショベル型ロボットによる整地作業と岩石除去作業を実現するロボット制御系を実現した。

革新的なロボット移動技術に関連し、以下の研究開発を行った。大阪大学は、クローラの形状を変更することが可能な柔軟双胴クローラの実証検証機を開発し、九州大学実験フィールドでの走行実験により、その有用性を確認した。また、東北大学は、建設機械の土工作業ツールに作用する掘削抵抗力から、地盤強度を推定する手法を開発することで、建設機械の安全な移動方策を提案した。

ロボットプラットフォームの開発に関連し、以下の研究開発を行った。ヤンマーは、アーム先端の精密制御が可能な 3t クラスの電動型ツール交換型ベースロボットを構築した。また、慶應義塾大学は、令和 3 年に開発した 100kg クラスのツール交換型ベースロボットの改良ならびに、調査・土工ツールの搭載を可能とする締結機構を開発した。

河道閉塞対応に特化した技術の開発に関連し、以下の研究開発を行った。熊谷組は、水没対応も可能な排水ポンプ設置を可能とする 3t クラスの小型油圧ショベルの研究開発を進めた。国際航業ならびに東京大学は、河道閉塞対応に特化した地形計測および水文観測用の遠隔設置型センシング機器の開発を進め、二瀬ダムならびに浅間山周辺において実証実験を実施し、有用性を確認した。

月面着陸拠点構築技術に関連し、以下の研究開発を行った。慶應義塾大学は、小型ロボットプラットフォームへの搭載が可能な排土ツールを製作した。九州工業大学は、ロボットの月面作業での故障に対応可能な各種のレジリエンス機能の研究開発を行った。これらは、JAXA が有する屋内実験フィールドにて実証実験を行い、有用性を確認した。

**研究開発項目 2(複数台ロボットの動的協働システム):**環境が逐次変化する無限定環境に適応する小型ロボット群を実現するため、動的協働 AI を体系化し、これによる自律分散型の動的協働システムを開発することが本研究開発項目の目標である。令和 4 年度には、土砂運搬を対象とし、複数台建設ロボットの協働動作実現のための要素技術開発を行った。以下に、研究開発項目における主要な成果について記す。

「動的協働 AI」については、東京大学が体系化を進めた。今年度は特に「シミュレーション学習データ」、「事前検証可能な検証学習データ」、「動作時に取得する実環境学習データ」に基づいて、ロボット群を運用する環境の環境ダイナミクスの同定を行うと共に、状況に応じたチーム編成が可能な動的協働 AI のアルゴリズムの構築を行った。

本プロジェクトで提案する動的協働 AI の実証を行うため、以下の研究開発を行った。東京大学は、チーム編成を動的に変更することが可能な、動的協働 AI を用いた建設ロボット群による三次元土砂運搬シミュレーションを実現した。また、動的協働アルゴリズムを小型模型建設ロボット群に実装し、屋内環境における模擬土砂の自律運搬動作を実現した。弘前大学は、開発・整備を進めている3台の実クローラキャリアダンプと実ホイールロードに、提案する協働アルゴリズムを実装し、実環境における土砂運搬タスクを実現した。

**研究開発項目 3(現場を俯瞰するセンサポッドシステム)**:Physical 空間で獲得したデータを元に、動的に Cyber 空間に環境情報を構築し、その上で環境評価や予測を逐次行う「Dynamic Synthesis」を実現するため、環境内に設置し、現場を俯瞰することが可能なセンサポッドシステムならびに、取得したセンサ情報から環境評価を行う環境評価 AI を開発することが本研究開発項目の目標である。以下に、研究開発項目における主要な成果について記す。

センサポッドシステムの研究開発に関連し、以下の研究開発を行った。九州大学は、複数のセンサポッドに搭載した LiDAR の情報を統合し、GNSS を利用せずに協働 AI ロボットの位置をリアルタイムで推定する技術を開発した。また、搭載した振動センサを用いて、地盤強度の推定を行う手法を開発した。奈良先端科学技術大学は、日照や風などの環境要因が時々刻々変化する屋外環境において、土壌表面の温度変化から土壌内部の含水状態を推定する手法の研究開発を行うと共に、この技術を搭載する試作機を構築した。上述のセンサポッドに搭載する技術は、複数回のフィールド実験を通じて、その有用性を確認した。

取得したセンサ情報を元にした環境評価に関連し、以下の研究開発を行った。理化学研究所ならびに東京大学は、「環境を理解する対話型 AI」の実現を目指し、DNN アーキテクチャおよび学習方法の研究を行った。特に、Semantic segmentation により、災害環境の画像情報から、崩壊斜面の大きさや、滑落崖の有無、崩壊斜面の中に岩石が露出しているかを判断が可能となった。筑波大学は、河道閉塞部の天然ダムの地盤変形および崩壊危険性解析を対象とし、PINN 順解析アーキテクチャを用いた地下水水位変動による変形解析と崩壊危険度解析システムを構築し、物理支配方程式の制約条件を考慮する有効性を示した。

**研究開発項目 4(動的協働 AI ロボット群と Dynamic Synthesis の実証)**:動的協働 AI ロボットシステムと Dynamic Synthesis により、多様な環境に適応したインフラ構築を実現するため、フィールド実験による構築したシステムの評価を行うことが本研究開発項目の目標である。本研究開発項目における主要な成果として、九州大学は、既存重機による「土工」に必要な作業を抽出するとともに、各作業の構成要素である動作や外因(環境や土質の影響)を整理し、これらをチャート化した。さらに、これらの要素をクラス化、サブセット化することで、各要素を臨機応変に追加・拡張できるようにした「ロボット建機の評価基準(案)」を策定した。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

令和4年度のプロジェクトマネジメントは、東京大学内において、PM、PM 補佐、事務補佐員らの5名で実施した。加えて、主に土木関連の研究開発に関するアドバイザーとして4名の内部アドバイザーリーボードを設置し、研究開発に関する助言を頂いた。PIが参加する会議については、全体で集まるキックオフミーティング、成果報告会の他に、PMが各PIの研究進捗状況を把握すると共に、研究機関間の連携を行うため、毎月、9分野のTF会議(各会議は、オンラインで90分)を実施した。また、PMならびにPM補佐は、各PIが実施するフィールド試験(九州大学フィールド、JAXA 屋内フィールド、宮城県三本木フィールド、熊谷組技術研究所フィールド、土木研究所 DX フィールド、弘前大学フィールド、二瀬ダム)の視察を行った。また、スイスのETH(Prof. Marco Hutter)、フィンランドのOulu Univ. (Prof. Rauno Heikkilä)との国際連携を目指し、対面を含む、それぞれ複数回の打合せならびに、サイトビジットを行った。国内展示会(建設・測量生産性向上展)ならびに国際展示会(Bauma2023)にも参加し、国内外の建設ロボットの動向調査を行った。

研究開発課題の方針については、令和3年度初頭に大幅修正を行ったプロジェクトの方針を踏襲した。なお、3年目(2023年度)終了時に、改めて大幅見直しを行う予定である。

令和 4 年度の本プロジェクトにおける研究成果については、国際原著論文が 12 件、総説 2 件、招待講演 9 件(うち国際が 2 件)、口頭発表 39 件、(うち国際が 8 件)、ポスター発表が 36 件(うち国際が 3 件)となった。また、知財戦略等については、令和 4 年度は、合計 5 件の国内特許出願を行った。

広報ならびにアウトリーチについては、基本的には、プロジェクトの Webpage を構築し、情報発信を行ってきた。また、今年度は、Youtube チャンネルを開設し、研究開発紹介 Movie を掲載した。加えて、2022 年 9 月に実施された「第 40 日本ロボット学会学術講演会」では、目標 3 に属する他の 3 人の PM との合同オープンフォーラムを実施した。また、2022 年 10 月に実施された「IROS 2022」では、目標 3 に属する他の 3 プロジェクトと共に、展示ブースを出展した。

データマネジメントについては、令和 4 年度、「九州大学伊都キャンパス実験場の地形データ、移動体の位置データ」ならびに、「建機の動作シミュレータのサンプルプロジェクトファイル一式(建機モデル含む)」について、Github を用いて公開した。

## 2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

### (1) 研究開発項目1: 土工を革新する AI ロボットシステム

#### 研究開発課題 1-1: 開いた設計の体系化

当該年度実施内容:

大阪大学では、これまでの土工に基づいた建機による作業機という枠組みをはずし、「小型群」「ヘテロ」「軽量」「柔軟」「冗長」などのキーワードを基本として新しい土砂運搬機構の開発、ならびに、「現場までは軽く・小さい機体であるが現場では重く・大きな機体に変身する」能力を備えた土工機の開発を目指している。特に、令和4年度は、「開いた設計」の要は、『如何にして環境と身体との相互作用を活かすか』という「陰陽制御」の考え方であり、実際に陰陽制御系を設計するには、そのものになってみるという「環世界制御学」の構築が重要である、との知見が得られた。また、その設計思想の一つとして「一般設計学」の方法論が参考になるとわかった。

課題推進者:

大須賀公一 (大阪大学大学院工学研究科)

#### 研究開発課題 1-2: 革新的な土工作业に関する技術

当該年度実施内容:

大阪大学では、革新的な土砂運搬機構に関する実証検証用試作機として「i-Centipot Hose」と「土喰らい」の2機について開発を実施した。まず、革新的な排水ホース敷設ロボットとして、「i-Centipot Hose」の試作機を製作し、九州大学屋外実験フィールドでの実証実験を行った。次に、「土喰らい」に関しては原理検証機としてマニピュレータの製作を行い、性能の評価を実施した。また、自重に頼らない土工作业に関する実証検証用試作機として、「スクレーパ型土喰らい」とクローラ型土砂獲得土工機「Antler」の2機について開発を実施した。まず、「スクレーパ型土喰らい」に関しては、原理検証機を製作し、九州大学屋外実験フィールドでの実証実験を実施した。次に、クローラ型土砂獲得土工機「Antler」は原理検証機を製作し、コンセプトが成立することを確認した。よって、設定した当該年度マイルストーンを達成したと考える。

東京工業大学では、「柔軟かつ大出力の把持機構」として、パワーソフトロボットアームに流体駆動アクチュエータを実装し、先端に取り付けるグリッパとして、空気圧で動作する「絡みつきグリッパ」を新たに開発したことで、様々な形状のものを把持することができた。さらに、「アクセス困難領域での作業機構」として、ワイヤパラレルロボットについては、新素材ワイヤ機構を活用したことで、令和3年度の原理検証モデルからさらに高い搬送能力を実現した。インパクト駆動ロボットでは、インパクト駆動の効果を定量的に評価し、有用性について確認できた。

ヤンマーでは、精密作業を実現することを目的とした、ツール交換型ハードウェア(3tクラス)に搭載する作業アームの設計と製作をおこなった。なお、この作業アームは、研究開発課題 1-4 に記すツール交換型ハードウェアのベース開発との結合と動作確認まで完了した。

奈良先端科学技術大学では、Physical 環境において、自律型土工作业ロボットによる土工作业実験環境を構築し、ROS を介して各種機器の計測データおよび制御データの通信・保存を可能にするソフトウェア環境も併せて開発した。模擬土砂としてビーズおよび珪砂五号を敷き詰めたプール環境に加えて、模擬岩石等も配置可能することで、試験的な土工作业検証が可能となった。また、Cyber 環境において、物理計算に GPU を利用可能な Nvidia 社製「Isaac Gym」をベースとした Cyber 土工作业環境を構築した。岩石と疑似土砂を1万個以上のパーティクルにより導入し、その色・大きさ・摩擦等をランダム化する機能を実装した。これらの構築環境において、全観測・単一ロボットを対象に、整地作業と岩石除去作業の2種類のタスクに対する行動戦略学習実験を遂行した。

課題推進者：

大須賀公一（大阪大学大学院工学研究科）

鈴木康一（東京工業大学 工学院）

松原崇充（奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科）

杉浦恒（ヤンマー 中央研究所）

### 研究開発課題 1-3: 革新的な移動機構

当該年度実施内容：

大阪大学では、革新的な移動機構に関する実証検証用建機として、「d-FlexCraw ver2.0」と「K3(KyuKyaKu)」の2機について開発を実施した。まず、「d-FlexCraw ver2.0」の開発を行い、九州大学屋外実験フィールドでの移動機実験を実施した。次に、「K3(KyuKyaKu)」については原理検証機を製作し、コンセプトに基づく移動機構が成立することを確認した。

東京大学では、単クローラの屋内走行実験による解析と難環境走行手法の考案と検証について、CuboRex 製 汎用クローラユニット「CuGoV2」をベースにロボット化したクローラロボット、土砂(真砂土)が入ったコンテナを油圧式リフターで傾けることで斜面を作ることができる模擬斜面装置と形状やサイズの異なる模擬障害物からなる実験装置を用い、斜度を変えながら、模擬軟弱地盤上における障害物踏破時の挙動を観察やスリップ率の計測を実施した。その結果、障害物とクローラが面で接触し、障害物が転がりにくい状態になると、スリップ率が低下している可能性があり、これを走行に利用することで走行性能を向上できる可能性があることが判明した。また、クローラキャリアダンプの自律化について、実機建設ロボットによる動的協働 AI の実証実験にも利用することを目指し、ヤンマー製のクローラキャリアダンプ C30R をベースに、PC と操作レバーを動かすための ARAV 製のレトロフィット装置を搭載し、遠隔及び自律での走行をできるようにした。

東北大学では、令和3年度の砂質地盤に引き続き、より広い土質に対応できるように粘土地盤を対象とし、バケットやブレード等の建設機械の土工作业ツールに作用する掘削抵抗力からコーン指数を推定する手法について、室内実験及び屋外フィールド試験から考察した。その結果、特にバケット掘削では、力積(掘削抵抗力×掘削時間)とコーン指数の関係は、掘削時の地盤の破壊形態に大きく依存することが確認された。また、建設機械が段差や斜面を踏破する動作をルールベースで作成、及び深層学習により獲得した。さらに、異なる地盤強度と地形における踏破性能の評価と、踏破出来ない地形に関して踏破しやすいように地形を切り拓く方法を検討した。

奈良先端科学技術大学では、今年度、移動タスクのうち、まき出しタスクに焦点を当て、Cyber-physical 移動実験環境が満たすべき仕様を検討するとともに、変動時間長の戦略モデルとして知られる、自己/イベント駆動型戦略モデルや、Coarse2Fine 戦略モデルなどの構造を取り入れた移動戦略の学習手法を検討した。また、熟練オペレータはブレード(排土板)の左右にこぼれ落ちる「振分」などを考慮してブレードの高さを微調整しているという知見に基づいて、作業中の土砂の挙動を観測し、シミュレータの土砂パラメータを推定することで、ブレードの高さ調整等に活用する枠組みについて検討した。

課題推進者：

大須賀公一 (大阪大学大学院工学研究科)  
永谷圭司 (東京大学 大学院工学系研究科)  
高橋弘 (東北大学 大学院環境科学研究科)  
松原崇充 (奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科)

#### 研究開発課題 1-4: ロボットプラットフォーム

当該年度実施内容：

ヤンマーでは、ツール交換型ハードウェア(3t クラス)のベースロボットについて、令和 3 年度に作成した本体仕様を基に、東京工業大学が開発したツールの仕様等も考慮して、設計・製作を実施した。また、製作したベースロボットは、リモートコントロールユニットから仕様通りの動作ができていることを確認した。

慶應義塾大学では、令和 3 年度に実施した走行試験をもとに、ロボットプラットフォームの運搬性、ハンドリング、ロボット本体と脚部の取り付け作業の短縮化、搭載バッテリー消費量のリアルタイムモニタリング機能の追加などを中心にロボットプラットフォームの設計改良に取り組み、令和 4 年 10 月に小型ロボットプラットフォームの 2 号機のハードウェア、令和 5 年 2 月にソフトウェアがそれぞれ完成し、それらを JAXA フィールド試験において動作確認した。また、昇降機構も付加したツール交換締結機構を開発し JAXA フィールドで試験を実施し、調査ツールおよび転圧ツールの締結を完了した。

土木研究所では、令和 3 年度に行ったオープンミドルウェアの仕様検討結果を基に、他の研究開発機関で開発している建設ロボットへ搭載できるよう、GitHub 上に公開したパッケージの README に搭載に必要な情報を整理・公開した。また、令和 3 年度に公開した建設機械の共通制御信号の原案であるデータ辞書を基に、ROS2 のメッセージ通信における実装例を検討し、ヤンマー社と打合せを重ねて合意を得るとともに、実機における動作確認を同社中央研究所にて実施した。さらに、「オープンミドルウェアを搭載したシミュレータ」については、既存建設機械および対象材料(土砂)をシミュレータ上で実挙動を模擬できるようにするためのモデル構築を実施し、GitHub を通じて公開した。一部の機能で不十分と考えられる点が残留しているが、これに対応するため、令和 5 年度より人員増強を図っており、令和 5 年 7 月頃までに、巻き返す予定である。

課題推進者：

杉浦恒 (ヤンマー 中央研究所)  
石上玄也 (慶應義塾大学 理工学部)  
橋本毅 (土木研究所 つくば中央研究所技術推進本部)

## 研究開発課題 1-5:河道閉塞対応に必要なシステム

### 当該年度実施内容:

この研究開発課題では、熊谷組、国際航業株式会社、工学院大学が、密に連携を取りながら、河道閉塞対応に必要な個別のシステム開発を行う。

熊谷組では、まず、全体システムの設計および見直しをおこない、排水ポンプ設置機器(水中バックホウ)の遠隔操作化や、水没対応への調査・検討およびガイダンスシステムの構築を進めた。また、排水ホース敷設のための養生マットの基本試験を実施すると共に、繰り返し試験が可能な模擬軟弱地盤の基礎試験を実施し、令和 5 年度以降の評価試験へ展開を図った。さらに、排水ポンプ設置からホース設置に至る排水ポンプ設置システム全体構成を検討し、(株)熊谷組技術研究所内のテストフィールドを用いた要素技術評価の試験を計画した。

国際航業株式会社では、令和 3 年度に整理した河道閉塞の条件設定や試作機の課題を踏まえて、河道閉塞現場において特に重要な環境情報を取得可能なセンシング機器として、東京大学 永谷 PI と連携して、遠隔配備可能(小型・重量 4Kg 以下)な地形計測および水文観測用のセンシング機器の 2 機を試作した。特に、水文観測用のセンシング機器については、令和 3 年度の機能検証用試作機の実験結果を元に、ドローン運搬等、実現場での運用に適した形状・重量・機構に発展させた。また、それらのセンシング機器について、河道閉塞模擬環境として、国土交通省関東地方整備局所管の二瀬ダム、及び利根川水系砂防事務所所管の浅間山周辺をお借りして実証実験をおこなった。実験の結果、計測誤差は充分許容可能な範囲であった。さらに、緊急時の初動対応として、専門家から「1 時間おきに計測データを送信、1 週間程度の連続観測が望ましい」というご要望をいただき、次年度の開発要件として、プロジェクト内の各メンバーとの共有を行うことができた。

工学院大学では、令和 3 年度に試作した個別の通信機器の実用上の問題点の洗い出しと、仕様の見直しを含めた改良を進めた。また、配置計画手法の改良として、環境に応じて無線中継局の局数と位置を決定する配置計画の研究を進めた。配置計画は、ドローン等による概要把握段階で取得した三次元地形データを元に、幾何条件をもとに通信機の位置を吟味し、その後、電波伝搬シミュレーションを通して通信可能性の吟味を行った。二瀬ダム、浅間山近辺の防堰堤などでは、これらの配置計画に基づいて通信実験を行い、実際に通信が行えることを確認した。さらに、ロバスト通信システムとして、通信に必要なアンテナならびに電源を設置するための自動水平台を、小型(50cm 角;アンテナ用)と大型(1.8m 角;電源用)の 2 種類を試作した。

### 課題推進者:

北原成郎	(株式会社 熊谷組 土木事業本部)
島田徹	(国際航業株式会社 公共コンサルタント事業部 国土保全部)
羽田靖史	(工学院大学 工学部)

## 研究開発課題 1-6:月面着陸拠点構築に必要なシステム

### 当該年度実施内容:

この研究開発課題では、慶應義塾大学、九州工業大学、JAXA が、密に連携を取りながら、月面着陸拠点構築に必要な個別のシステム開発を行った。

慶應義塾大学では、研究開発課題 1-4 において開発した締結機構・昇降機構と調査ツールおよび排土ツールを統合するとともに、調査計測制御系のロボットシステムへの組み込みを完了した。また、四輪駆動ロボット車両へ同ツールを搭載し JAXA フィールド試験で動作確認を行った。さらに、転圧ツールについても開発を完了し、締結機構を用いて小型ロボットプラットフォームに同ツールを装着させ、JAXA フィールド試験で動作確認を行った。

九州工業大学では、機能レジリエンスを発揮する機構として、車輪の駆動・フリー状態をパッシブに切り換え可能なクラッチ機構を新たに組み込んでいる。これにより、駆動系故障を伴う車輪が動作（移動や土工作业）の足枷にならずに、動作の継続を可能できること、ならびにその性能について実験的に評価した。また、月面での多様な土工作业を実現するための冗長自由度であるアクティブ・サスペンション機構を、車輪走行以上の推進力を発揮することが期待できるレジリエントな動作戦略にも応用させる方法として、アクティブ・サスペンションを用いた全方向インチング移動の有効性を実機検証し、故障だけでなく超軟弱地盤などの通常走行では踏破困難な環境へのアクセス性を高める動作の評価実験を実施した。特に、インチング移動による車輪スタック離脱を対象に、離脱力（牽引力）の改善を実機評価するとともに、力学モデルに基づく理論解析からも本手法の有効性を比較・評価した。さらに、システムレジリエンス技術の実証に向けた、月面拠点構築に必要なシステムレジリエンスの詳細化をおこなった。また、機能レジリエンスとシステムレジリエンスを考慮したミッション・レジリエンスを発揮するための異常検知フローの検討を踏まえて、協働作業のためのロボットシステムのプロトタイプの改良を実施した。

JAXA は、インフレータブルもしくは発泡成型可能な施工素材について各種トレードオフ検討を行い、超膨張特性を有するシリカエアロゲル素子をターゲット材料として選定し、月面着陸パッドの整地を行う際に必要とされる地表面の凹部を補間する素材としての適用を目指した研究開発を行った。この研究開発により、加工前材料に対して体積 5 倍以上の膨張特性を持つ、シリカエアロゲルパッケージを開発可能な目処を得た。最終膨張工程に関わる方法、膨張後の圧縮特性に関わる評価実験を行い、実用性を確認した。

課題推進者：

石上玄也	(慶應義塾大学 理工学部)
永岡健司	(九州工業大学 工学部)
上野宗孝	(宇宙航空研究開発機構 宇宙探査イノベーションハブ)

## (2) 研究開発項目 2: 複数台ロボットの動的協働システム

### 研究開発課題 2-1: 動的協働 AI の体系化

当該年度実施内容：

令和 4 年度は、当該年度マイルストーンの達成に向け、構造化（チーム編成）に必要なアーキテクチャ・アルゴリズムについて議論、実装、検討を行った。

複数台ロボットによる無限定環境・想定外事象への対応を実現する動的協働 AI では、無秩序状

態から中央集権的な秩序状態を状況に応じて変化可能な構造化（チーム編成）が必要である。例えば、ロボットや生物の組織、チームというのは、チームが全く存在せず、個が並列にタスクを遂行する Individual 行動モードがある。一方、完全な監視下のもとで、中央集権的にタスクを遂行している場合、Coordinator 間で情報を共有する Middle Coordinator 行動モードとなる。このとき、Individual 行動モードと Middle Coordinator 行動モードは、明確な境界線で区切られているわけではなく、Individual 行動モードと Middle Coordinator 行動モードの間は、グラデーションのようになっており、多段階的な階層構造化がなされていると考える。これは、人間などの生物が、状況に応じた構造（チーム）の切り替え（チーム編成）によって、無限定環境・想定外事象に対応するシステム構造を成す。具体的には、Individual 行動モードと Middle Coordinator 行動モードの間は、チームを取り仕切る Coordinator, Coordinator に従って動く Cooperator で構成され、チームの数、チーム内の Cooperator が状況に応じて変化する。以上が本プロジェクトで我々が目指す、適応的なチーム編成である。本年度は、構造化（チーム編成）に必要なアーキテクチャ・アルゴリズムについての議論の結果、上記の概念を設計した。

また、上記の概念設計に基づき、タスクと環境ダイナミクスに基づいた自己組織化手法の構築に向けて、環境やタスクの変化に応じてチーム数の増減や、チームの役割が変化可能なロボット群の制御方法が導かれる役割分担アルゴリズムを構築した。さらに、このアルゴリズムの適用可能性を検証するため、ロボット間の衝突を取り入れたマルチエージェント強化学習によるロボット群システムの2次元シミュレーション環境を構築した。このシミュレーション環境を用いて、提案する強化学習による動作を確認し、無限定環境・想定外事象に対応するロボットシミュレーションが可能となった。これにより、これまで考案してきた、役割分担アルゴリズムが適用可能となり、動的協働 AI の数理的体系化に関する研究を重点的に取り組むことが可能となった。

上記の通り、動的協働 AI の体系化に必要な概念設計ならびに、タスクと環境ダイナミクスに基づいた役割分担アルゴリズムの構築、役割分担アルゴリズムを検証可能なシミュレーション環境の構築が完了した。

課題推進者:

永谷圭司 (東京大学 大学院工学系研究科) 担当: 浅間一

## 研究開発課題 2-2: 動的協働アルゴリズムによる臨機応変なチーム編成の実現

当該年度実施内容:

この研究開発課題では、東京大学、弘前大学、土木研究所が、密に連携を取りながら、動的協働アルゴリズムによる臨機応変なチーム編成の実現を目指す。

東京大学では、まず、現場の状況に応じて臨機応変なチーム編成を行う「オープン自己組織化」の構築を行った。「オープン自己組織化」の仕様検討のため、ロボット群に想定される具体的なタスクとして、ショベルとダンプによる土砂運搬を対象として、土砂量、山・捨て場の位置、ロボットの性能、納期などをパラメータとした。また、単位時間あたりに運搬可能な土砂量(予測パフォーマンス)の推定、単位時間あたりに実際に運搬した土砂量(実パフォーマンス)に基づきチームを再編成するアルゴリズムとして「オ

オープン自己組織化」を構築した。その結果、ロボットの故障や、路面状態などの環境に起因してチーム編成が起こることを確認し、ロボット群の行動設計における方法論、パラメータなどの仕様が有効であることを確認した。

次に、動的協働 AI の検証には、土砂特性まで考慮した三次元の土工シミュレーションが必要になるため、三次元土工シミュレーション環境の構築(動力学シミュレータ(OperaSim)を使用)、ショベルでの土砂の掘削・積載アルゴリズムの構築、ダンプトラックでの運搬・放土アルゴリズムの構築を行い、6 台のロボット群による土砂運搬タスクを実現した。その結果、構築したアルゴリズムが、適切に動作し、繰り返し、ショベルによる土砂の掘削・積載、ダンプトラックでの土砂の運搬・放土が可能であることを確認した。

さらに、使用する模型ロボットとして、油圧ショベル型とダンプトラック型を想定し、ショベル型について、市販のラジコンショベルの筐体や機構をベースに、センサやモータドライバ、コントローラを搭載し、ロボット化を行った。一方、ダンプトラックについては、ショベルと同程度のサイズで、金属筐体とスマートモータを組み合わせて開発した。さらに、各ロボットに張り付けた AR マーカをカメラで認識することで、ロボットの移動に必要な位置姿勢の情報を取得できるシステムを構築した。

弘前大学では、複数のロボットチームでの土砂の運搬作業を対象とし、土砂運搬作業中に、作業の遅延、チーム内で解決できない問題が生じた場合、自己(チーム)機能の学習に基づいて、チーム間をロボットが移動し、状況に応じて協働チームを自律的・適応的に編成する手法を実環境で実施する前段階として、複数個のセンサポッドを用いた複数小型建設ロボットの同時位置姿勢推定技術の開発を行うと共に、各単体建設ロボットの任意点への自律走行制御を行った。また、複数センサポッドと複数の小型建設ロボットに取り付けたセンサデータを融合した作業環境の認識手法について開発を行った。これらの技術を合わせて、3~4 個の複数センサポッドまたは GNSS と、実建設ロボット 3~6 台を用いた自律土砂運搬作業を実験場で行うと共に、複数センサポッドと実建設ロボット 3~6 台を用いた一人のオペレータによる遠隔土砂運搬作業を実験場で行った。

土木研究所では、研究開発課題 1-4 で述べたとおり、「オープンミドルウェアを搭載したシミュレータ」について、既存建設機械および対象材料(土砂)をシミュレータ上で実挙動を模擬できるようにするためのモデル構築を実施し、GitHub を通じて公開した。

課題推進者:

永谷圭司	(東京大学 大学院工学系研究科)	担当: 浅間一
竹囲年延	(弘前大学 大学院理工学研究科)	
橋本毅	(土木研究所 つくば中央研究所技術推進本部)	

## 研究開発課題 2-3:1 人のオペレータによる複数台ロボット遠隔操作の実現

当該年度実施内容:

この研究開発課題では、研究開発課題 2-2 と同様に、東京大学、弘前大学、土木研究所が、密に連携を取りながら、1 人のオペレータによる複数台ロボット遠隔操作の実現を目指す。

東京大学では、まず、オペレータ介入が入る前の下準備として、研究開発課題 2-2 において述べた通

り、三次元の土工シミュレーション環境(動力学シミュレータ(OperaSim)を使用)における 6 台以上のロボット群による土砂運搬タスクを実現した。オペレータ介入の際に、オペレータの言語指示に関して、大規模言語モデルの判断能力を活用する実装を現在進めており、令和 5 年度前半には、本項目に関する研究開発を加速することで、ロボット群操作手法を用いた 6 台ロボット群操作による土砂運搬を実現する予定である。

次に、複数台の模型ロボットについては、研究開発課題 2-2 において述べたショベル型とダンプトラック型の模型ロボットで動作試験を実施し、ジョイスティックやコマンド送信によって遠隔操作可能であることを確認した。

弘前大学では、複数のロボットチームでの土砂の運搬作業を対象とし、土砂運搬作業中に、作業の遅延、チーム内で解決できない問題が生じた場合、自己(チーム)機能の学習に基づいて、チーム間をロボットが移動し、状況に応じて協働チームを自律的・適応的に編成する手法を実環境で実施する前段階として、複数個のセンサポッドを用いた複数小型建設ロボットの同時位置姿勢推定技術の開発を行うと共に、各単体建設ロボットの任意点への自律走行制御を行った。また、複数センサポッドと複数の小型建設ロボットに取り付けたセンサデータを融合した作業環境の認識手法について開発を行った。これらの技術を合わせて、3~4 個の複数センサポッドまたは GNSS と、実建設ロボット 3~6 台を用いた自律土砂運搬作業を実験場で行うと共に、複数センサポッドと実建設ロボット 3~6 台を用いた一人のオペレータによる遠隔土砂運搬作業を実験場で行った。

土木研究所では、研究開発課題 1-4 で述べたとおり、「オープンミドルウェアを搭載したシミュレータ」について、既存建設機械および対象材料(土砂)をシミュレータ上で実挙動を模擬できるようにするためのモデル構築を実施し、GitHub を通じて公開した。

課題推進者:

永谷圭司 (東京大学 大学院工学系研究科) 担当: 浅間一  
竹囲年延 (弘前大学 大学院理工学研究科)  
橋本毅 (土木研究所 つくば中央研究所技術推進本部)

### (3) 研究開発項目 3: 現場を俯瞰するセンサポッドシステム

#### 研究開発課題 3-1: センサポッドを構成する要素技術

当該年度実施内容:

九州大学では、複数のセンサポッドに搭載した LiDAR の情報を統合し、協働 AI ロボットの位置をリアルタイムで推定する技術を開発し、その推定に用いるアルゴリズムの動作確認実験を行った。その結果、協働 AI ロボットに見立てた建設機械の位置を複数の LiDAR によりリアルタイムで追跡できることを確認した。また、センサポッドに搭載した振動センサを用い、令和 3 年度に開発した振動波形の乱れを用いた地盤強度の推定手法の検証のためのフィールド実験を実施した。その結果、振動ローラーに取り付けた振動センサを用いる従来手法に比較して、提案手法は地盤固さ(転圧ローラーの転圧回数)の増加に従い、固さの指標が収束する様子が顕著に計測できることがわかった。

奈良先端科学技術大学では、日照や風などの環境要因が時々刻々変化する屋外環境においても、土壌表面の温度変化から土壌内部の含水状態を推定するために、参照物体を用いた環境要因の補正技術の開発に取り組んだ。これにより、晴天時だけではなく、曇天時などの日照が不安定な場合にも対応できる含水状態の推定技術を開発した。また、屋外で使用するためのセンサポッドのシステム像を明らかにし、試作機を作成した。さらに試作機を用いた実験により、目標としている性能を備えていることを確認した。

国際航業株式会社と東京大学は、連携を取りながら、センサポッドを適地に運搬するために必要なドローンの自己位置精度の向上手法について既存技術の調査を行った。また、要素技術のインテグレーションに向けて、センサポッドの遠隔配備に必要な要素技術としてウィンチや点群データを用いて機器設置の適地を選定するプログラム等について資料収集整理を行い、その一部（懸架するセンシング機器の向きを制御する機構）の開発と不整地環境にて基礎的な実験を行った。さらに、センサポッドの地表固定技術の試作と性能評価については、センサポッドの地表固定の方法について検討を行い、小型軽量の装置で、センサポッドを固定するのに十分な杭を打ち込めるようにすることを目指すこととした。これを実現する方法として、モータの回転を一度フライホイールに蓄え、これをクラッチで杭や杭を把持したアームに瞬間的に伝達することで、杭を打ち込む機構を構想・試作し、これを用いて力を計測する実験を実施した。その結果、モータを直結させた場合よりも、提案手法により、大きい力を生じさせることができることが分かった。

課題推進者：

倉爪亮	(九州大学 大学院システム情報科学研究院)
向川康博	(奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科)
島田徹	(国際航業株式会社 公共コンサルタント事業部 国土保全部)
永谷圭司	(東京大学 大学院工学系研究科)

### 研究開発課題 3-2: センサポッド要素技術のインテグレーション

当該年度実施内容：

九州大学では、センサポッド初号機を基に、センサポッドの内部に 3D LiDAR, 振動センサ, 小型 PC, 小型 GNSS アンテナ, バッテリー等を組み込んだセンサインテグレーション型センサポッド初号改良機を開発した。改良機の制御ソフトウェアも最新の ROS2 に書き換えたことで、ネットワークの通信障害に対する信頼性と動作安定性の向上を実現した。

課題推進者：

倉爪亮	(九州大学 大学院システム情報科学研究院)
-----	-----------------------

### 研究開発課題 3-3: AI によるセンシングデータ解析

当該年度実施内容：

理化学研究所では、image captioning や visual question answering (VQA) のタスクにおける課題①性

能が低く、限定的な条件においても人の能力に比肩するものでなかったこと、②深層ネットワークの規模が大きくなる傾向にあり、推論や学習に巨大な計算リソースを必要としたこと)に対して、V&L 画像理解モデルの能力向上を目的に、比喩表現を自由に使いこなせる V&L モデル、及び新しい V&L のための DNN アーキテクチャを研究した。特に、新しく設計した DNN アーキテクチャは「GRIT」と命名した。「GRIT」は、画像記述のタスクにおいて、従来技術より約 5 倍程度推論速度が速く、同等の性能を 20 分の 1 の量の学習データで達成できるようになった。また、画像記述において比喩表現を使いこなせる V&L モデルならびにその性能評価の方法を開発した。この試みは関連分野で初めてのものであり、大きな意義がある。

筑波大学では、本プロジェクトで扱う地盤問題の中で重要かつ基礎的な圧密問題を対象として、令和 3 年度に構築した順解析 PINN の詳細な性能検証と、圧密挙動予測の精度向上および計算負荷低減に向けた検証を行った。さらに、地盤物性値(圧密係数)の逆解析 PINN の構築を行い、物理支配方程式の制約条件を考慮する有効性を示した。また、令和 3 年度に構築した有限差分法による河道閉塞の「仮想現場モデル」を用いて、地下水位変動による変形解析と崩壊危険度解析の順解析 PINN の基本コードを構築した。さらに、地盤解析の妥当性検証と地盤パラメータの検討を行ったうえで、連続体弾性解析の PINN を構成して基本コードを構築し、プログラムコードを作成して順調にまわせることを確認した。ここでは、形状情報以外の物理支配方程式(連続体力学の構成式)、境界条件、地下水位を考慮する体積力条件を考慮する PINN とし、立方体形状の連続体に対して、地盤内の地下水による浮力の影響によるような妥当な求解ができる。

東京大学では、理化学研究所が開発した AI フレームワークを過去の災害に対して適用し、その妥当性を検証するため、道閉塞現場における画像-言語データセットの構築を行い、それをもとに地上インフラ構造物で適用性を確認した Image captioning 手法での言語化を試みたが、適切に機能しなかった。これはデータ数の不足(40 現場, 100 枚程度)が原因であると考えため、データ数を継続的に増加させるとともに、令和 5 年度に行う予定の Large Language Model(LLM)との連携を見据え、ルールベースでの言語化を行うこととした。崩壊斜面の大きさや、滑落崖の有無、崩壊斜面の中に岩石が露出しているかどうか等は、10 月までに行った Semantic segmentation の結果から画像解析でわかるため、これらをテンプレート文章に入力することで言語化を実現した。

課題推進者:

岡谷貴之 (理化学研究所 革新知能統合研究センター)  
西尾真由子 (筑波大学 システム情報系)  
永谷圭司 (東京大学 大学院工学系研究科) 担当: 全 邦釘

#### (4) 研究開発項目4:動的協働 AI ロボット群と Dynamic Synthesis の実証

研究開発課題 4-1:河道閉塞/月面などの模擬環境構築とフィールド評価

当該年度実施内容:

九州大学では、既存重機による「土工」に必要な作業を抽出するとともに、各作業の構成要素である動

作や外因(環境や土質の影響)を整理し、これらをチャート化した。そして、これらの要素をクラス化、サブセット化することで、各要素を臨機応変に追加・拡張できるようにした「ロボット建機の評価基準(案)」を策定した。また、フィールド実験を臨機応変かつ並行的に行うために、実験計画の策定支援を行うとともに、九州大学構内のフィールド環境の整備を実施した。その整備等により、令和3年度に実施した「振動ローラーを用いたセンサポッドによる地盤環境の評価」実験および「レトロフィット機構を用いたリモコン重機操作」実験の追加実験に加えて、新規フィールド実験である、竹囲 PI グループの「複数クローラダンプの協調動作による土砂運搬」実験を円滑に遂行することに貢献した。

JAXA では、今後の月面を目指した動作試験を行うために、試験に応じた地形の最適化、特に重力環境等評価フィールドと実際の月面における環境の違いも考慮した評価手法が重要となるため、地上評価の適用性と限界を見極めるための研究開発を行った。本評価の実施には、宇宙航空研究開発機構(以下 JAXA)相模原キャンパス内に有する宇宙探査実験棟内の、月面を模擬したフィールド実験室を用いて行った。今年度は、令和3年度の研究によって確立した手法を用いて、研究試作中の試作機に対する評価実験を進め、適用性・拡張性を見極めた。

課題推進者:

三谷泰浩	(九州大学 工学研究院)
上野宗孝	(宇宙航空研究開発機構 宇宙探査イノベーションハブ)

### 3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

##### 進捗状況の把握

- PM を支援する体制としては、令和 3 年度から引き続き、PM 補佐を国際航業株式会社 金崎氏、事務補佐員を加納氏が担当した。さらに、令和 4 年 1 月より、村本氏が派遣職員の業務の一部として、Webpage の整備等の支援業務を担当した。また、大学の事務方には、Moonshot 担当者を 1 名アサイン頂いている。現在、この 4 名が、PM の支援を行っている。加えて、主に土木関連の研究開発に関するアドバイザーとして 4 名の内部アドバイザーリーボードを設置し、研究開発に関する助言を頂いた。
- 重要事項の連絡・調整としては、全ての PI が参加する会議について、キックオフミーティングを 1 回、成果報告会を 2 回 (PD, AD 向けの会と内部向けの会) 実施した。
- 研究の進捗状況の把握については、主に、タスクフォース会議 (以下、TF 会議と呼称) を実施することで各研究開発機関の進捗の把握を行った。本プロジェクトでは、9 つのタスクフォースがあるため、毎月 9 回の TF 会議 (各会議は、オンラインで 90 分) を実施した。各研究機関の PI は、主に所属するタスクフォースで、月に一回、研究開発の進捗を発表してもらうと共に、別の TF 会議にも参加し、議論に参加してもらっている。これにより、PM が各研究開発機関の進捗を把握すると共に、グループ間の連携を取る仕組みを確立した。
- 上記の定例会議の他に、複数の研究機関の間で、より詳細な議論を行うための個別会議 (Individual Task Meeting: 以下、ITM と呼称) を都度設定し、PM はできる限りそれらの議論に参加するようにした。なお、この ITM は、オンラインだけではなく、対面実施も行ってきた。
- 一方、各 PI は、フィールド試験を実施しているが、PM ならびに PM 補佐は、これらの実験の視察を行い、各研究開発機関の担当者から説明を受けると共に議論を行った。具体的には、九州大学フィールド、JAXA 屋内フィールド、宮城県三本木フィールド、熊谷組技術研究所フィールド、土木研究所 DX フィールド、弘前大学フィールド、二瀬ダムにて、各研究機関が開発したセンシング機器やロボットの実験の視察を行い、進捗を確認した。また、スイスの ETH、フィンランドの Oulu Univ. との国際連携を目指し、対面を含む、それぞれ複数回の打合せならびに、サイトビジットを行った。また、国内展示会 (建設・測量生産性向上展) ならびに国際展示会 (Bauma2023) に参加し、国内外の建設ロボットの動向調査を行った。

##### 研究開発プロジェクトの展開

- 研究開発機関を互いに競わせる仕組みとしては、同一の課題に対し、複数の機関が複数のアプローチで研究開発を進めている。3 年目 (2023 年度) に、内容を精査し、継続するか中止にするか検討する予定である。
- 一方、動的協働 AI (特に複数台ロボットのチーム編成) ならびに、環境評価 AI (特に Large Language Model を用いた環境評価) については、前者は、弘前大学、東京大学、大阪大学、後者は、東北大学、東京大学、国際航業株式会社が密に協働を行い、研究開発を進めてきた。
- 研究開発課題の大幅な方向転換については、昨年度、B 判定を受けた際、プロジェクトの大幅な方針変更を行ったため、今年度は実施していない。3 年目 (2023 年度) に、見直しを実施する予定である。

- ・ 国際連携については、フィンランド オウル大学(Prof. Rauno Heikkilä)との間で、複数台建設機械の協働に関する共同研究開発について、議論を進めてきた。この研究機関とは、2022 年 10 月にフィンランドで、年度はまたぐが、2023 年 4 月につくば(土木研)にて、共同で Workshop を開催した。また、スイスの ETH(Prof. Marco Hutter)との間で、建設ロボットの自律化に関する共同研究開発について、議論を進めてきた。
- ・ 社会実装に向けた ELSI に関する取り組みについては、2022 年度は、あまり進んでいないが、東京大学の堀田教授を中心に、今後、議論を進める予定である。

## (2) 研究成果の展開

- ・ 研究成果の展開方法については、令和 4 年度は、「5. 当該年度の成果データ集計」にも記した通り、国際原著論文が 12 件、総説 2 件、招待講演 9 件(うち国際が 2 件)、口頭発表 39 件、(うち国際が 8 件)、ポスター発表が 36 件(うち国際が 3 件)となった。
- ・ 一方、知財戦略等については、令和 4 年度は、合計 5 件の国内特許出願を行った。また、事業化戦略、技術移転先、将来的な顧客開拓に向けた対応等については、要素技術開発が一定程度進んだ後の令和 5 年度以降になると考える。

## (3) 広報、アウトリーチ

- ・ 研究成果の広報について、基本的には、プロジェクトの Webpage を構築し、情報発信を行ってきた。ここでは、現在までの研究成果に関し、視察の結果ならびにフィールド試験結果の概要について、お知らせ欄で報告を行ってきた。引き続き、Webpage を用いた広報を進める予定である。また、今年度は、Youtube チャンネルを開設し、研究開発紹介 Movie を掲載した。
- ・ 2022 年 9 月に実施された「第 40 日本ロボット学会学術講演会」では、目標 3 に属する他の 3 人の PM との合同オープンフォーラムを実施した。ここでは、他のプロジェクトと共に、永谷からプロジェクトの紹介を行った。
- ・ 2022 年 10 月に実施された「IROS 2022」では、目標 3 に属する他の 3 プロジェクトと共に、展示ブースを出展した。ここでは、ホース敷設を行うロボット試作機の実機展示を行い、小規模であるがデモンストレーションも行った。
- ・ 2022 年 12 月に実施された「第 22 回 SICE システムインテグレーション部門講演会」では、「ムーンショット型研究開発(目標 3):多様な環境に適応しインフラ構築を革新する協働 AI ロボット」という OS を設置し、論文募集を行った。ここでは、本プロジェクトから 22 件の発表を行った。

## (4) データマネジメントに関する取り組み

- ・ データマネジメントについては、令和 4 年度は、「九州大学伊都キャンパス実験場の地形データ、移動体の位置データ」ならびに、「建機の動作シミュレータのサンプルプロジェクトファイル一式(建機モデル含む)」について、Github を用いて公開した。
- ・ 一方、会議の議事録や会議動画については、パスワードロックのかかった内部 Web ページに設置し、プロジェクトメンバーは閲覧可能としている。さらに、情報交換の場として Slack を活用すると共に、GitHub(または GitLab)を用いたソースコードの共有を行っている。

#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図

研究プロジェクトの推進体制は、下図に記した通りである。



※チームリーダーは青字

図 1: 共同研究プロジェクト推進体制

## 知財運用会議 構成機関と実施内容

本プロジェクトでは知財運用会議に関する内部ルールを定めており、知財運用会議は、本研究開発プロジェクトに関連する知的財産権の出願に先立って設置するものとしている。その構成機関については、JST、PM、出願申請を予定する研究開発機関を標準とするが、PM が関連する研究開発機関等の意見を聴取したうえで JST と協議のうえ最終決定することを想定している。

また、知財出願に関するトラブル防止の観点から、PM は他の研究開発機関等にその写し、可能であれば論文や発表資料の原稿を送付することとしている（電子的に共有することを含む）。連絡を受けた研究開発機関等は公表内容について異議や問題がある場合は、修正案または意見を PM に連絡することができる。

なお、令和 4 年度は、知財出願申請が 5 件あったが、事前に PM 側で申請内容を確認したところ申請機関以外の機関との利益相反等は確認されなかったため、知財運用会議は実施していない。

## 運営会議 実施内容

運営会議は PM 及び全ての PI が参加する会議とし、令和 4 年度は計 3 回実施した。

4 月頃のキックオフ会議では、研究開発項目とタスクフォースの関係や進捗報告の方法等、本プロジェクトのマネジメント方針について周知し、円滑なプロジェクト推進を図った。

また、10 月頃のプロジェクト課題推進者会議では、PD や Sub-PD、AD も参加の下、各 PI の研究開発進捗状況の具体的な報告をおこなった。

## 5. 当該年度の成果データ集計

令和4年度のプロジェクト成果は、下表に記した通りである。

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	5	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	5	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	7	2	9
口頭発表	31	8	39
ポスター発表	33	3	36
合計	71	13	84

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	12	12
(うち、査読有)	0	12	12

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	2	0	2
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	2	0	2

受賞件数		
国内	国際	総数

プレスリリース件数
0

報道件数
3

ワークショップ等、アウトリーチ件数
2