

## 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」

## 戦略推進会議

プログラムディレクター：

福田 敏男

(名古屋大学 名誉教授)

令和6年3月29日

1. 研究開発プログラムの概要
2. 2022年度追加公募
3. ステージゲート評価
4. 今後の方向性

# 1. 研究開発プログラムの概要 目指す社会像

## 目標3が目指す社会像

### 人とロボットが共生する世界

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。

日本には将来の人口減と高齢化の課題があり、介護労働力、知的労働力、生産労働力不足や安全安心な災害対応も含めて、少子高齢化に対処して将来の豊かな生活像を目指す。



## Society 5.0

①一人ひとりの多様な  
幸せが実現できる社会



ターゲット1

人生に寄り添うAIロボット

②価値創造の源泉と  
なる「知」の創造



ターゲット2

科学探求を行うAIロボット

③持続可能で強靱な社会



ターゲット3

難環境で活動するAIロボット

人との共生

環境との共生

## 2. 2022年度追加公募（1）公募の背景・目的

第6回戦略推進会議（R4.9.9）報告済

### ■解決すべき課題

- ✓人とロボットが共生するには、人に寄り添えるAIロボットの**高度な自律性**が必要であり、**発想、ひらめきを創発させるAI**や、**人の行動を誘発させるAI**が重要となる。
- ✓2020年度からの開発で当初目標のAIロボットの開発が進んだが、世界に先駆けた競争優位を実現するには、**人と関わるAIの強化**、月面など**難環境での自律性強化**が効果的と判断した。

### ■2022年度の採択プロジェクトによる強化：新規プロジェクトを採択、強化を推進

- ✓「AI研究」では人の行動変容を引き起こす深いAIとして、**Awareness AI 技術を強化**する。
- ✓「難環境」では特に**月面での拠点構築を強化**する。

### ■追加公募によるPM採択とステージゲート評価

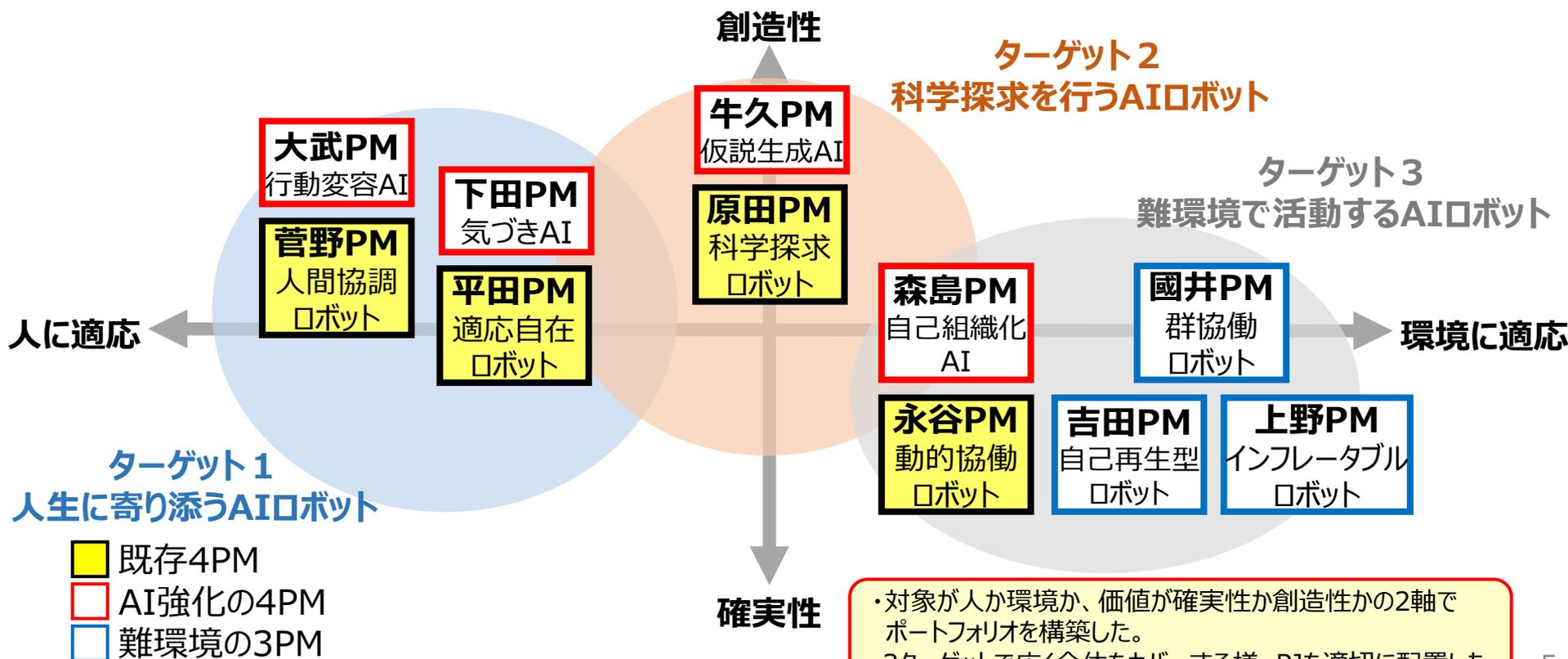
- ✓ **社会像実現の課題解決**と上記**競争優位実現**のため、追加公募にて**7名のPMを採択**した。
- ✓ **挑戦的な目標を立て既存プロジェクトを強化**することを目的とするが、その**達成可能性が未知**なため、はじめの1年間は**フェジビリティスタディ**及び**スモールスタート**の形をもって研究開発を開始することとした。

## 2. 2022年度追加公募（2）公募結果

第6回戦略推進会議（R4.9.9）報告済

2022年に、AI強化として4PM、難環境の場の拡張で3PMを採択

- ✓ AI強化は既存4PMを補完するよう、連携相手を設定
- ✓ およそ1年間の研究開発を経て2024年度以降の研究の**革新性・発展性**および**目標達成の可能性**を評価基準として**ステージゲート評価を実施**、プロジェクトの継続、終了、他のプロジェクトとの統合を判断することとした。



### 3. ステージゲート評価（1）評価結果

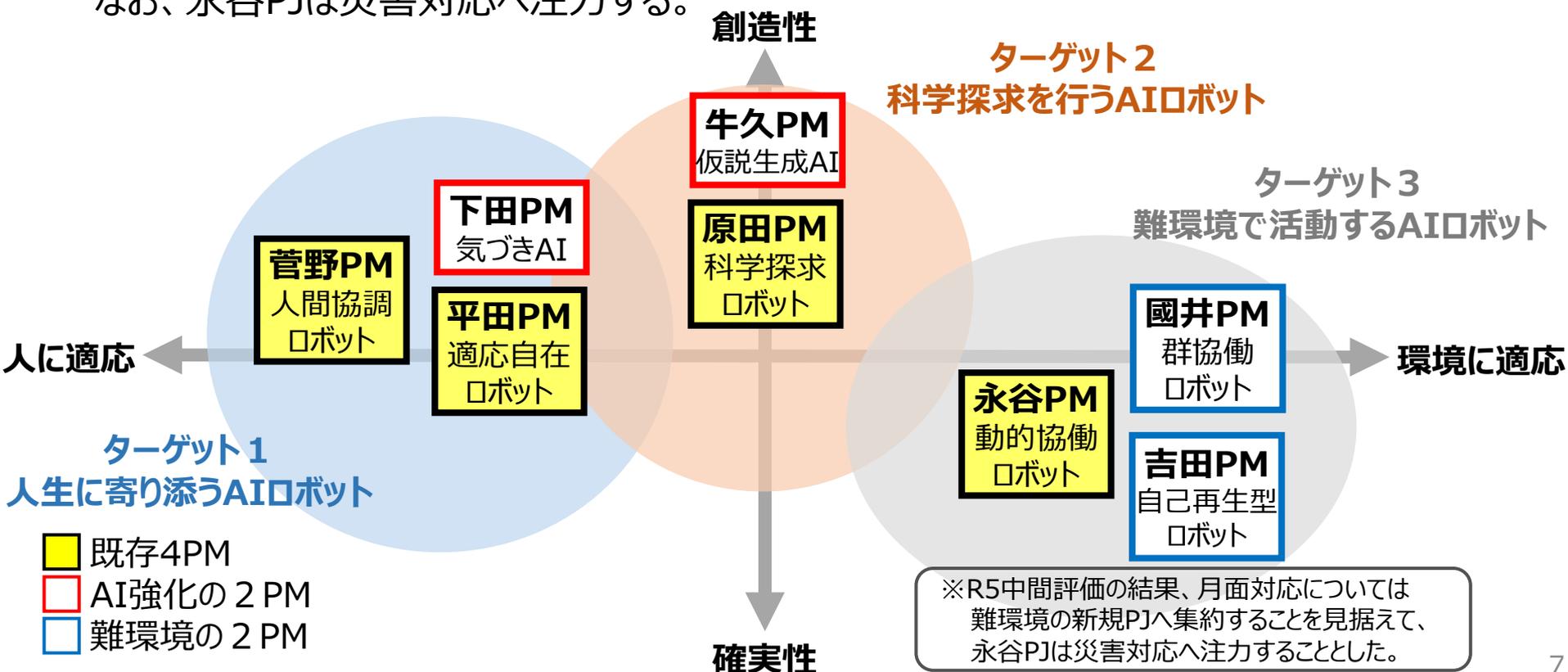
- ステージゲート評価の評価基準及び目標3の成果最大化の観点からプロジェクト継続／終了、統合等の判断を行い、目標3全体の底上げを図ることとした。
- 2023年11月にステージゲート評価を実施した。

プロジェクト（PJ）	対応方針
牛久PJ(オムロンサイニックエックス)	継続(原田PJのAI強化としても密に連携する)
大武PJ（理化学研究所）	終了(対話AIを菅野PJへ統合する)
下田PJ（名古屋大学）	継続(平田PJのAI強化にも取り組む)
森島PJ（大阪大学）	終了(一部、國井PJへ移管する)
上野PJ（JAXA）	終了(月面居住モジュールを吉田PJへ統合する)
國井PJ（中央大学）	継続(月面探査を強化する)
吉田PJ（東北大学）	継続(月面拠点構築を強化する)

### 3. ステージゲート評価（2）ポートフォリオ

#### ■ポートフォリオの見直し：ステージゲート評価結果を踏まえ8 PMによる体制に集約

- AI研究－既存PJのAIロボットに新規PJの新たな観点のAIを連携させ、人に寄り添い高度な科学探究を実現する**目標3**ならではのAIロボットを実現する。
- 難環境－月面・宇宙での国際競争が激化している中、新規PJが連携しながら**世界に先駆けてAIロボットによる月面での探査・インフラ構築を実現**し、地上の災害応用への展開も図る。  
なお、永谷PJは災害対応へ注力する。



# 3. ステージゲート評価（2）ポートフォリオ

## ■ポートフォリオ見直しの詳細

### ●AI研究

- ✓人に寄り添うAIロボットの自律性を大きく向上させるため、**人との対話とロボット動作の統合**や**人の発想・ひらめき・行動変容の誘発**、などに関わるAIを強化する。そのため、菅野PJと下田PJに新たにPIを追加して体制を強化し、開発を加速する。
- ✓科学探究を行うAIロボットは原田PJ、牛久PJに新たにPIを追加して**新たな有機物質発見を一例とする仮説生成AIと実験AIの開発体制を強化**し、科学探究の実現を加速する。

### ●難環境

- ✓多数の小型群ロボットによる月面の溶岩チューブ探索と拠点構築作業を世界に先駆けて実現するため、月面探査AI群ロボットの開発を強化し、**2030年以前に月面の溶岩チューブ内の探査を実現**することを目指し、地上実証とフライトモデル開発に取り組む。
- ✓月面の居住場所およびインフラを構築するAIロボット群の開発を強化する。**2030年代早期に月面拠点構築を実現**することを目指し、地上実証とフライトモデル開発に取り組む。
- ✓永谷PJは、災害対応に注力することとし、環境や状況に応じて臨機応変な対応が可能な協働AIロボットシステムによる河道閉塞対応に取り組む。

## 4. 今後の方向性

### 目標達成に向けた現状と課題

#### ■ AIの急速な進化の現状と進化への対応、インパクトある成果の創出：

- 急速にAIが進化しており、AI開発の強化とロボットへの適用の加速が重要となっている。
- 世界に対してインパクトのある成果の創出が必要だが、目標への反映がまだ不足している。
- 開発成果の標準化、人との共生のためのELSIの検討への取り組みが必要。

### 課題に対する対応方針

#### ■ マイルストーン・技術目標の再検討とブラッシュアップ：

- 最新の研究開発動向への対応や社会へのインパクトを明確にするように**マイルストーンを再検討して研究開発を推進**し、これまで開発してきた**要素技術をインテグレートしたシステムを開発**することで2025年のマイルストーン達成を目指す。
- 2025年から2030年にかけて、**AIロボットが人との相互作用により共進化する実例を世界に先駆けて複数提示**する。また、2050年に向けて人と共生するAIロボット実現のため、**目標3の解決すべき課題(ELSIを含む)をさらに掘り下げ**、研究開発を進めていく。

#### ■ 目標1と目標3の連携：

- 合同戦略会議を継続し、サイバネティックアバター(CA)とAIロボットを共通に広く活用するためのミドルウェアの標準化(OMG RoIS/RoSOなど)に目標1と3で連携していく。また、CAとAIロボットが**共存するユースシーンを具体化し、実現していく**。

参考スライド

## 第11回戦略推進会議 (R5.11.10) 報告済

### ■ 今後の課題

- ✓ プログラムの目指す社会像と各プロジェクトの位置づけを明確にし、研究開発成果が社会をどのように変えるのかをより具体的・定量的に示すこと。
- ✓ 目標1と目標3はターゲットとするユースシーンが近く、社会受容基盤など2つの目標で共通しているところもあるため、両目標を組み合わせた社会像とはどのようなものかを目標1と目標3と一緒に考える時期に来ている。

### ■ 対応策

- ✓ 目指す社会像や社会に対するインパクトや成果の汎用性・拡張性を一層明確化するように、マイルストーン・技術目標の再検討とブラッシュアップを行う。
- ✓ 既存4PMの中間評価、11月の新規7PMのステージゲート評価を通じて**プログラム全体の体制見直しと強化**を行う。
- ✓ 競合優位を築くための技術やインテグレーションに必要な技術を明らかにし、研究開発の重点を見きわめながらメリハリのあるプログラム運営（人や予算配分など）を行う。
- ✓ 目標1との共通部分を共同で進めるべく、これまで実施してきた合同戦略会議を継続するとともに、国際標準化（ミドルウェア）の合同戦略の推進を強化していく。

## 牛久PJ：継続（原田PJのAI強化としても密に連携する）

### 人と融和して知の創造・越境をするAIロボット

#### プロジェクト概要

イノベーションにおいて、持続的な性能向上には演繹的思考が、パラダイムの破壊には帰納的思考と創発による知の創造や、分野を回遊する知の越境が必要です。本研究では2030年までに、研究者の思考を論文から理解するAIを構築した後、人と対話しながら主張→実験→解析→記述のループを回して研究できるAIロボットを実現します。

2050年には研究者とAIが融和し、ノーベル賞級の研究成果を生み出す世界を目指します。

#### プロジェクトの主な成果

- ✓ 原田PJとの連携を期待されている**有機物質自動合成において高い成功率を実現。**
- ✓ 「論文理解」AIの開発に取り組み、**論文の一貫性（主張から解析まで矛盾がないこと）に関する説明文を生成するAIや複数論文の俯瞰図を生成するAIを開発・検証し、目標を上回る性能を実現。**



#### 評価結果と今後

新規性のある仮説生成という非常に挑戦的な目標に取り組むとともに、図表理解や化学合成に関して最先端を追求し、プロジェクトとしての成果が出ている。

非常に競争の激しいこの分野において優位性・革新性を維持していくため、2025年に向けて体制を変更し、特に仮説生成に注力する。

## 大武PJ：終了（対話AIを菅野PJへ統合する）

### ありたい未来を共に考え行動を促すAIロボット

#### プロジェクト概要

自分の想いや考えを言葉にして気づきを得て、よりよく生きるための行動ができるよう促す、行動変容支援ロボットを開発します。会話での言葉や様子から、多くの人の知恵や知識、体験を収集し、特定の人への気持ちや考え、価値観にあった逸話や声掛けを通じ、新しい視点や方法を提示して、行動を促す技術を開発します。それにより、2050年には、「ありたい未来を共に考え、そのための行動を促すAIロボット」の実現を目指します。

#### プロジェクトの主な成果

- ✓ 顔画像、音声、生体信号からユーザの内部状態（感情等）を推定・認識するシステムのプロトタイプを構築。
- ✓ 菅野PJのAIロボットに顔画像から感情等を推定するシステムを組み込み、自宅シーンでのユーザ対話等のデモを実施。



#### 評価結果と今後

菅野PJのAIロボットを用いたデモなど一部の成果が出ていたものの、2023年マイルストーンの一部の達成が見込めず、熟練者を超えるAIといったプロジェクトの革新性に関する今後の見通しが明確でない。

本PJを終了させつつ、一部の研究開発課題について内容を見直したうえで菅野PJのAIロボットの対話コミュニケーション研究へ統合することで、プログラムとしての成果最大化を図る。

## 下田PJ：継続（平田PJのAI強化にも取り組む）

### 主体的な行動変容を促す Awareness AIロボットシステム開発

#### プロジェクト概要

自らの可能性を最大化すべく主体的に行動しながらも、適切な社会的役割を果たすことが可能な社会の実現が強く求められています。主体的に行動するには、自らやるべきこと・やりたいことに気づくことが必要であり、適切な気づきを促し、その発展と継続を補助する Awareness AI の開発が本プロジェクトの目的です。気づきとは、人の無意識と意識の狭間を埋めるものであり、これまでの研究で、ロボットによる適切な無意識下での運動補助が、人に多様な気づきを与えるため必要であることが分かっています。本研究では、主体的な気づきを与えるAI、他者との関係を構築するAI、努力の継続を補助するAIを開発し、将来への希望を持って生活できる社会の実現を目指します。

#### プロジェクトの主な成果

- ✓ 平田PJのAIロボットを利用して、上腕の運動麻痺患者に対して、下田PJの知見に基づいて**無意識下の補助介入**(上腕の上下動)を行うことにより、**運動麻痺からの回復**を促すことを確認。
- ✓ 歩行データからの特徴量抽出により歩行モデルを構築し、**無意識に現れる歩行異常を検知するシステム**を構築。



平田PJのAIロボット

#### 評価結果と今後

Awareness AIに関する独創的な研究開発が進められており、要素技術開発も目標を達成している。ヒトを対象とした研究を推進できる環境を一般の商業施設において立ち上げ、予備実験を開始しており、マイルストーンを超える進展が見込まれる。

2025年に向けて、一部研究開発体制を見直すとともに成果の統合を進める。

## 森島PJ：終了（一部、国井PJへ移管する）

### 人・AIロボット・生物サイボーグの共進化による新ひらめきの世界

#### プロジェクト概要

生物は不確かな環境情報しか得られないにも関わらず、環境応じて巧みに行動します。AI技術によって、そのような生物の「行動ルール」を抽出し、自己組織的な協調作業をするための「制御ルール」を設計してロボットや生物サイボーグに適用できれば、人は様々な環境での行動・情動の制御の方法を生物から見出すようになります。これにより、人に新たな振る舞い、気づき、ひらめきをもたらすとともに、人とロボット、生物サイボーグが協働・共進化する「新ひらめきの世界」の実現を目指します。

2050年には、人-ロボット-生物サイボーグの共生によって、人が事故や災害などの不安におびえることなく、精神的により豊かになり、新たな学問・芸術・文化を生み出す社会を実現します。

#### プロジェクトの主な成果

- ✓ 生物の行動ルールを発展させた**制御ルール**や**昆虫サイボーグ用の世界最小のバックパックボードを開発し、多数の昆虫サイボーグの編隊移動を実現。**



サイボーグの編隊移動の様子

#### 評価結果と今後

生物サイボーグをツールとして用いる自己組織化プラットフォームの研究開発は進捗しているが、プラットフォームから得られるAI技術のロボット適用という、採択当初からの目的達成の見通しが得られていない。

ロボットへのAI技術適用を目的とする本PJは終了とするが、開発されたツールのうち国井PJに有効なものは国井PJに統合することで、プログラムとしての成果最大化を図る。

## 上野PJ：終了（月面居住モジュールを吉田PJへ統合する）

### AI ロボットにより拓く新たな生命圏

#### プロジェクト概要

有人宇宙探査の到達点は人類を含む生命体が地球からの従属性を振り切り、月・火星という極限環境において独立した生命圏を築く挑戦です。本プロジェクトは、この到達点をバックキャストした要素をAIロボット技術を発展・活用させながら、スマート技術、行動変容技術等を有した拠点システムの構築に向けた研究開発を行い、2050年には人類が長期的に活動可能な生命圏を実現します。

#### プロジェクトの主な成果

- ✓ 複数セルから構成されるインフレータブル居住空間について1 / 2モデルの開発およびデモを予定通り実現。
- ✓ インフレータブル居住空間に関連するシミュレーション基盤の一部を構築。
- ✓ 複数の小型ロボットとソフトロボットのデモを実施。



将来イメージの構成例

（2つのインフレータブル居住空間を結合）

#### 評価結果と今後

月面居住空間を作るという挑戦的な取組みであるが、複数のテーマをシステム統合する道筋が不明確であり、今後の進捗について十分な見通しが得られない。

本PJを終了させつつ、革新的な取組み内容であるインフレータブル居住モジュールとシミュレーション基盤に関する研究開発課題を、吉田PJへ統合して総合的な月面拠点構築プロジェクトとへ発展させることで、プログラムとしての成果最大化を図る。

## 国井PJ：継続(月面探査を強化する)

### 未知未踏領域における拠点建築のための集団共有知能をもつ進化型ロボット群

#### プロジェクト概要

単純機能の小型ロボットが群を形成して知能を発揮し、群全体で共通した機能の更新・拡張、機体の新規追加が群を進化させる仕組みの研究開発を行います。さらに多数のロボットが協力して玉転がしの要領でロボット拠点コンテナを搬送し、コンテナが自ら展開することで活動拠点となる進化型群知能活動拠点構築システムを開発します。

それにより、2050年には進化型ロボット群知能により構築された月面活動拠点の実現を目指します。

#### プロジェクトの主な成果

- ✓ 探査用小型ロボットのプロトタイプを開発。2輪走行と跳躍を実現し、不整地でもスタックすることなく動作することを確認。
- ✓ 小型ロボット群の確率的な行動制御により、効率的な探査が可能なことを確認。



探査用小型ロボットのプロトタイプ

#### 評価結果と今後

小型ロボット及び進化型ネットワーク知能に関する挑戦的な研究開発を進めている。多数の小型ロボット群による基本的な探査が実現するとともに、今後に向けて新たな開発事項の検討が進められている。

今後は、他国に先駆けた溶岩チューブ探査の実現に向けて、研究開発全体を強化する。

## 吉田PJ：継続（月面拠点構築を強化する）

### 月面探査／拠点構築のための自己再生型AIロボット

#### プロジェクト概要

月面において未到探査および拠点構築を行う担い手として、再構成が可能なAIロボットシステムを提案し、その実現に向けた研究開発を行います。月面に持ち込んだ資材を有効活用し、状況に応じてモジュールの組み換えや、月面で得られる資源を用いてパーツの修復を行うことができる自己再生型AIロボットの技術を確立します。それにより、2050年には月面での探査と資源活用が促進され、持続的な有人活動拠点の実現を目指します。

#### プロジェクトの主な成果

- ✓ 結合部の開発を行い、**Plug and Play可能なモジュラーロボットのプロトタイプ**を開発。
- ✓ モジュラーごとの学習結果を階層的に積み上げることができることを確認。



組み換え可能なモジュラーロボット

#### 評価結果と今後

提案された自己再生型AIロボットのコンセプトは良い。現時点では一般的なモジュラーロボットの域を脱してはいないものの、結合部分やPlug and Play等においてコンセプトに沿った基盤技術を確立している。

今後は、上野PJの一部を統合して総合的な月面拠点構築プロジェクトへと発展させるとともに、アルテミス計画等への提案を見据えた計画立案を進める。

多様な動作を学習するロボットが登場しているが、最先端の研究と比較して、本プログラムは少ない学習で日常生活のさまざまな状況に対応できる点が優れている。

## 国内外の研究例

- ✓ 動作・機能ごとに専用ロボットが多く、
- ✓ 各動作の学習コストが膨大であり、
- ✓ 不確実事象の完全な事前予測も困難であるため、実世界への適用はまだまだ少ない

### Atlas(Boston Dynamics社)

運動性能の高度化に注力しており、プログラミングした動作（環境を考慮）が可能だが、人との触れ合いは難しい

写真引用：Boston Dynamics



### RT-X(Google DeepMind社)

従来型の機械学習：大規模データによる膨大な動作学習が必要

主に腕1本で少ない自由度のハンドで行える作業が対象

写真引用：Google DeepMind



## 目標3の研究例

### ■ AIREC&深層予測学習

形状や柔らかさ等の変化にも対応可能な動作生成AIにより作業の多様化を実現

- ✓ 腕:2本、ハンド:10自由度、可搬重量:20Kg/腕
- ✓ 学習時と現実の差を許容することで少量・短時間の学習で多様な動作を実現
- ✓ 対象の大きさ・位置・柔軟性等のさまざまな環境要素によらずに動作

著名な学会等で  
多数のBest Paperを獲得



人との対話コミュニケーションをさらに強化



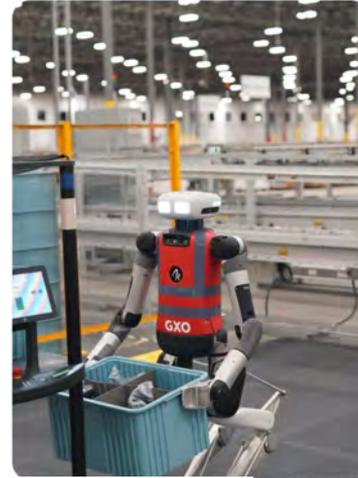
プロトタイプロボット（Dry-AIREC）  
不確実性・曖昧性・不安定性などに対応できるAIロボット

Atlas写真引用元：<https://bostondynamics.com/blog/flipping-the-script-with-atlas/>

RT-X写真引用元：<https://deepmind.google/discover/blog/scaling-up-learning-across-many-different-robot-types/>

# 国内外の研究動向 人生に寄り添うAIロボット（人間協調）

人型ロボットは多くの研究開発が行われており、実験室レベル・現場実証レベルなど状況はさまざまである。以下に一例を示す。



## Agility Robotics社 Digit

物流倉庫内の動作イメージ。  
物流プロバイダーのGKO社と提携。  
またAmazonの倉庫でも実験中。  
引用元：<https://agilityrobotics.com/>



## EVE 1X社

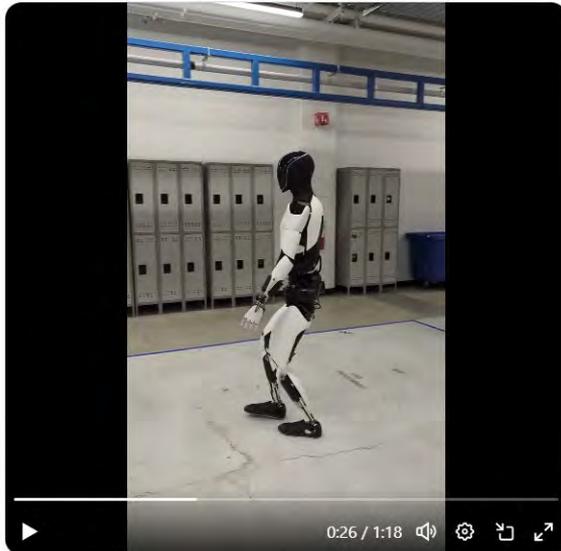
人との協働に重点をおき、安全性を重視、ドアの開閉などの自律機能をもち、一人の操作者が15体を遠隔操作で利用可能(Shared Autonomy)  
引用元：<https://www.1x.tech/androids>



## Figure AI社 Figure 01

物流倉庫内の動作イメージ  
ロボットの背中にケーブル配線あり。  
引用元：[Figure社youtube2月20日動画のワンショット](https://www.youtube.com/watch?v=gEjXcEU3Bbw)  
<https://www.youtube.com/watch?v=gEjXcEU3Bbw>

Tesla Optimus @Tesla\_Optimus · 2月25日  
Getting my daily steps in



## テスラ社 オプティマス

フロアを歩行する動画  
引用元：[Tesla Optimus/X](https://twitter.com/Tesla_Optimus)  
(2月25日投稿動画のワンショット)  
[https://twitter.com/Tesla\\_Optimus](https://twitter.com/Tesla_Optimus)

# 国内外の研究動向 難環境（特に月面）のAIロボット

NASAはGCD(Game Changing Development Program)やBig Idea Challengeで将来の宇宙ミッションに繋がる新規テーマに取り組み、宇宙関連技術の進歩をはかる。目標3ではCADRE, SWaPなどと同等の開発に取り組み、いち早く月面での実証を実現して日本のプレゼンスを示す。

## 国内外の研究例

- ・ GCDはNASA・産・官・学で、衛星表面、衛星居住、宇宙空間および衛星表面探査、などのテーマに取り組む。



小型ロボット群の自律移動と相互通信技術を開発,2024.4にNASA JPLのIM-3プロジェクトで月面に到着予定。

### Cooperative Autonomous Distributed Robotic Exploration(CADRE)

- ・ Big Idea Challengeは学を対象にコンテスト形式で優秀なアイデア発掘と早期実証を狙う。



インフレータブル拠点: NASA BIG Idea Challengeで、NASAが大学から提案を募集。6大学が2024.11に実証機を公開。

### low Size, Weight and Power(SWaP) Inflatable Applications on the Lunar Surface

## 目標3の研究例

GCDと同等の開発を目標3で実施し、いち早く月面での実証を実現して日本のプレゼンスを示す。



### 小型群ロボットによる溶岩ドーム探索と居住ユニット設置

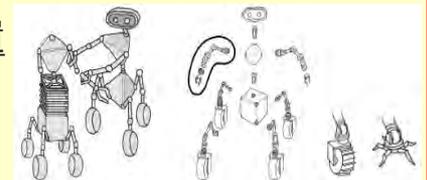


月面の拠点構築作業：太陽電池板設置、暗部での水/氷採取など。インフレータブル居住拠点構築および関係技術にも取り組む



### 小型群ロボット試作と探索実証

跳躍型ロボット



拠点構築作業向けモジュラロボット：所要作業に応じてハンドや車輪/脚などを自在に交換。故障にも対応。

# 国内外の研究動向 分離型小型ロボットの月面着陸結果

- 2024年1月20日午前0:20（日本時間）、月面に日本の小型月着陸実証機「SLIM（Smart Lander for investigating Moon）」が着陸した。
- 着陸間際に超小型天体観測用ローバ「LEV-1」および変形型月面ロボット「LEV-2」が分離され、SLIMの外観を撮影し地球に直接送信した。
- 世界初の複数ロボットによる同時月面探査により宇宙探査での有用性を世界に示した。



LEV-2が撮影し、LEV-1経由で地球に直接送信されたSLIMの月面への着陸状態の写真

**LEV-1/LEV-2** 宇宙科学研究所 宇宙機応用工学研究室 教授 LEV-1 担当 吉光 徹雄

SLIMによって月面に展開され、自律的に移動し、SLIMの着陸状況や周囲を撮像する小型のペイロード

	LEV-1 (ISAS)	LEV-2 (探査ハブ)
dimension	φ280 mm x 371 mm	123 mm x 90 mm x 135 mm
mass	2.1 kg	250 g
mobile system	hopping, wheeled	wheeled

LEV-1 (c)JAXA, TUAT, Chuo Univ.

LEV-2 (c)JAXA, TUAT, Chuo Univ.

LEV-1、LEV-2の外観(共に目標3PM,PIが開発)

**SLIMから分離後の動作**

communication module  
60 mm x 40 mm x 25 mm  
90 grams

Earth

deployment → free fall → landed → hop → hop

direct communication (S-band, UHF)

image-based autonomous exploration

SLIM supposed landing Moon

(c)JAXA, TUAT, Chuo Univ.

LEV-1の放出と地球との直接通信の概念

【引用元】宇宙航空研究開発機構 資料83-1 小型月着陸実証機（SLIM）、超小型月面探査ローバ（LEV-1）、及び変形型月面ロボット（LEV-2）の月面着陸結果について 令和6年（2024年）2月26日