

機関番号	研究種目番号	応募区分番号	小区分	整理番号
32708	06	1	61050	0001

令和5(2023)年度 基盤研究（C）（一般）研究計画調書

令和 4 年 9月22日
2版

新規

研究種目	基盤研究(C)	応募区分	一般
小区分	知能ロボティクス関連		
研究代表者 氏名	(フリガナ)	コウノ ヒトシ	
	(漢字等)	河野 仁	
所属研究機関	東京工芸大学		
部 局	工学部		
職	准教授		
研究課題名	知識選択型転移強化学習のための選択動作過程解析手法の開発		
研究経費 〔千円未満の 端数は切り 捨てる〕	年度	研究経費 (千円)	使用内訳(千円)
			設備備品費 消耗品費 旅費 人件費・謝金 その他
	令和5年度	3,400	2,100 1,200 100 0 0
	令和6年度	800	0 200 500 0 100
	令和7年度	800	0 200 500 0 100
	令和8年度	0	0 0 0 0 0
	令和9年度	0	0 0 0 0 0
	総計	5,000	2,100 1,600 1,100 0 200
開示希望の有無	審査結果の開示を希望する		
研究計画最終年度前年度応募	--		

研究組織（研究代表者及び研究分担者）

	氏名（年齢）	所属研究機関 部局 職	学位 役割分担	令和5年度 研究経費 （千円）	エフ ォ ー ト （%）
研究代表者	70758367 （37） コウノ ヒトシ 河野 仁	東京工芸大学 工学部 准教授	博士（工学） 動作過程解析手法の開発	1,780	30
研究分担者	30781215 （40） フジイ ヒロミツ 藤井 浩光	千葉工業大学 先進工学部 准教授	博士（工学） 提案解析手法のスケラビリティの検証	570	10
研究分担者	90823766 （39） チ ヨンフン 池 勇勲	北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 准教授	博士(工学) 実ロボットの知識選択過程における提案解析手法の適用	1,050	15
合計 3 名			研究経費合計	3,400	

1 研究目的、研究方法など

本研究計画調書は「小区分」の審査区分で審査されます。記述に当たっては、「科学研究費助成事業における審査及び評価に関する規程」（公募要領19頁参照）を参考にすること。

本研究の目的と方法などについて、4頁以内で記述すること。

冒頭にその概要を簡潔にまとめて記述し、本文には、(1)本研究の学術的背景、研究課題の核心をなす学術的「問い」、(2)本研究の目的および学術的独自性と創造性、(3)本研究の着想に至った経緯や、関連する国内外の研究動向と本研究の位置づけ、(4)本研究で何をどのように、どこまで明らかにしようとするのか、(5)本研究の目的を達成するための準備状況、について具体的かつ明確に記述すること。

本研究を研究分担者とともに行う場合は、研究代表者、研究分担者の具体的な役割を記述すること。

(概要)

近年、人工知能や知能ロボット技術の発展により、様々な社会実装が期待されている。しかし、実社会への適用を考慮すると多目的最適化やマルチタスク学習の様に複数の問題に対してパフォーマンスを発揮することが知能化技術に求められる。これらの課題に対し、申請者らは認知心理学からの知見を活用し、活性化拡散モデルを用いた知識選択型転移強化学習を開発し計算機シミュレーションや実ロボットによる単純なタスクの達成を評価してきた。活性化拡散における活性化値計算や拡散計算の過程は、並列計算で実装されているため解析的に実際の挙動を説明することが出来ず結果的な評価で終わっている。そこで本申請課題では、活性化拡散計算が瞬間的に有向非巡回グラフで近似することが出来ると考え、トポロジカルソートにより活性化拡散の挙動を解析、説明するための手法を開発する。また、実ロボットに実装した知識選択型転移強化学習の動作が提案手法により説明可能になるか評価を行う。

(1) 本研究の学術的背景、研究課題の中核をなす学術的「問い」

近年、人工知能や知能ロボットの発展により、自動車の自動運転や配膳ロボットの実用化など様々な社会応用が実現してきている。とりわけ深層強化学習の登場により、強化学習（深層強化学習なども含む）によるロボット制御や自動運転制御なども研究が活発となっている。また、強化学習アルゴリズムは学習に時間がかかるため、過去の獲得知識（方策や行動価値関数）を再利用する転移強化学習が提案されている（図1）。さらに機械学習技術では、ある問題に対する1つ解を発見し動作するように構成され、より実社会への応用を考慮すると多目的最適化やマルチタスク学習と同様に複数の問題に対してパフォーマンスを発揮することが求められると考えられる。しかし、様々なタスクや問題に適応する学習アルゴリズムはまだ十分に議論されておらず、申請者らは、学習した知識を蓄積し環境やタスクに応じて自動的に知識選択し転移学習するアルゴリズムを搭載した強化学習を開発した（図2）。

申請者の知識選択アルゴリズムである活性化拡散モデルは認知心理学から得られた知見であり、ヒトの脳内における概念や記憶の想起をモデル化している。研究業績学術論文[1]や[3]にて活性化拡散モデルのアルゴリズム化と計算機シミュレーションによる評価を行った。実ロボットでの評価として研究業績学会発表論文[1]にて活性化拡散の計算を計算機クラスタに実

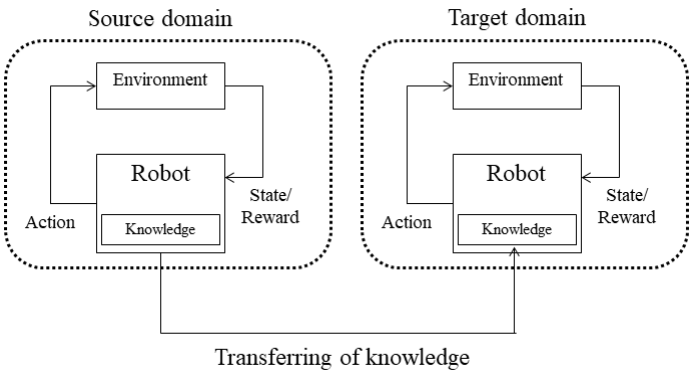


図1 転移強化学習のイメージ図

【1 研究目的、研究方法など（つづき）】

装し、自動運転シニアカーが環境特徴量を計算機クラスタに送信し、環境に応じて走行するための知識の切り替え実現した。

しかし、申請者らの活性化拡散モデルは活性値の計算や拡散の計算が並列計算で実装されるように理論が構築されている。そのため、活性化拡散の動作過程を解析的に説明することが出来ず結果的な評価で終わっている。そこで本申請課題では、活性化拡散計算

が、ある時刻の瞬間的な挙動としては有向非巡回グラフで近似することが出来ると考え、トポロジカルソートなどグラフ理論の解析手法を用いることにより活性化拡散の挙動を解析、説明するための手法を開発する。これにより、知識選択型転移強化学習においても説明可能AIとしてのアプローチを行うことで安心安全な動作を実現する。

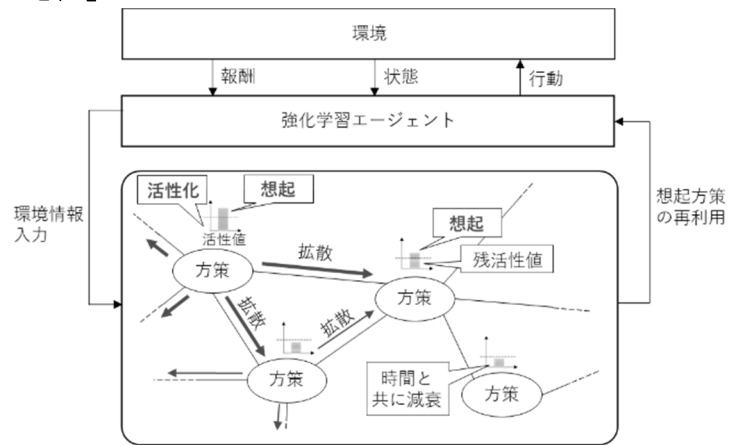


図 2 強化学習における活性化拡散モデルを用いた知識選択と転移（再利用）の概略図

（2）本研究の目的および学術的独自性と創造性

本申請課題では、並列計算で実装される活性化拡散を用いた知識選択手法に対して、グラフ理論の解析手法を用いることで動作過程を近似的に表現することが目的である。そのため、実際の活性化拡散の動作過程を離散時間的に可視化、解析する手法の開発を行う。また、活性化拡散を用いた知識選択手法はスケーラビリティが高く、本申請課題で提案する手法が多数の方策や行動価値関数を選択するシステムにおいても効果的かどうか評価するため、活性化拡散を用いた知識選択手法により制御される移動ロボットプラットフォームの知識選択過程解析も行う。そのため、本申請課題を達成するための以下のような部分目的を設定する。

- ・ グラフ理論の解析手法を応用した活性化拡散モデルの動作過程解析手法の開発
(担当：東京工芸大学 河野)
- ・ 計算機クラスタを用いた動作過程解析手法のスケーラビリティの検証
(担当：千葉工業大学 藤井)
- ・ 実ロボット実験による実際の知識選択過程における提案手法を用いた動作過程検証
(担当：北陸先端科学技術大学院大学 池)

また、同時並列的挙動の解析は、惑星運動の多体問題に代表されるように解析的に解を求めることが困難であることが知られている。申請者らの知識選択手法である活性化拡散モデルはヒトの脳内にあるモデルを参考としているため、活性値や拡散計算が同時並列的に実行せざるを得ない。本申請課題による近似的な解法が確立すれば活性化拡散モデルによる知識選択の計算過程が説明可能となり、評価実験などによる結果論としての良し悪しだけでなく動作過程の評価が可能となる。さらに、申請者らの手法の改善に貢献するだけでなく、深層学習などのアルゴリズムにも適応可能であると考えられる。

【1 研究目的、研究方法など（つづき）】

（3）本研究の着想に至った経緯や、関連する国内外の研究動向と本研究の位置づけ

本申請課題のような活性化拡散モデルを用いた知識選択手法のほかに、知識選択型の転移強化学習はこれまでにいくつかの研究がなされている。たとえばF. FernandezらのProbabilistic policy reuse やM. E. TaylorらのMASTER, T. TakanoらのTransfer learning based on forbidden rule などがある。これらは強化学習や転移学習における知識選択の先駆的研究であるが、知識選択の評価はタスクベースの達成などによる評価、すなわち実験結果的な評価しか議論されていない。なぜその知識が選択されたのか、文脈的な議論やアルゴリズムの動作解析的な議論が説明可能AIのように今後重要となると考えられ、知能化技術の社会実装への重要な考慮事項の1つであると申請者らは考える。そのため、本申請課題では申請者らの活性化拡散モデルを用いた知識選択アルゴリズムにおける解析手法の確立を目指す。

さらに、活性化拡散モデルのネットワーク構造はグラフ理論で定義されており、実装時は並列計算用のアルゴリズムとしてプログラミングされるが、原理的にはグラフ理論などで用いられている解析アルゴリズムや表現方法と親和性が非常に高いと考えられる。

（4）本研究で何をどのように、どこまで明らかにしようとするのか

本申請課題では、活性化拡散の並列動作を解析する手法を開発するだけでなく、解析手法が様々なシチュエーションで動作過程を表現可能かどうかも検討を行う。活性化拡散の計算は、計算機クラスタにおけるベストエフォートで処理されるため、図3のように選択された知識を使用（転移学習）する自律移動プラットフォーム（図中では自動運転シニアカー）が、計算機クラスタと物理的に近い距離に存在する場合

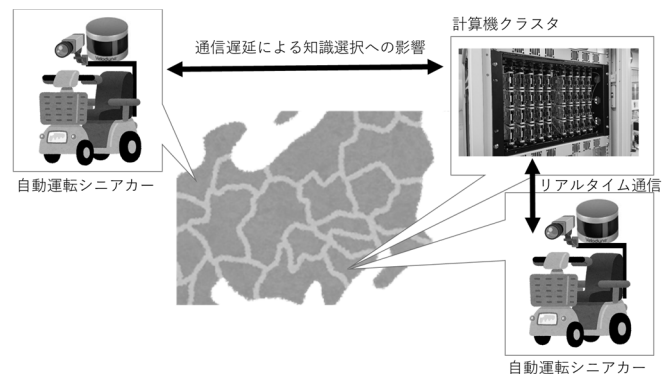


図3 実際の運用を考慮した通信遅延による知識選択への影響も検証

合は、システム間の連携がスムーズになるため提案手法である解析手法で動作過程を表現できると考えられる。しかし、例えば遠方の自律移動プラットフォームが計算機クラスタに接続する場合は通信遅延が発生し、知識選択における計算と、選択された知識の転送とその実行に時間的ギャップが生じてしまう。そのギャップは、次の知識選択のための活性化拡散計算に影響を及ぼすことが考えられるため本申請課題の提案手法において、通信遅延が知識選択にどのような影響をおよぼすのかを明らかにする。そのため、本申請課題では動作過程の解析手法を提案・評価するだけでなく、活性化拡散を用いた知識選択手法に対して実際の様々なシチュエーションがどのように影響をおよぼすのか解析を行う。

研究計画としては、初年度（2023年度）では解析手法の検討を開始し実際の計算機クラスタなども使いながら手法を開発する（表1）。また提案手法のスケーラビリティ検討のために申請者が所有している計算機クラスタの増設をおこなう。実ロボット実験用の自動運転シニアカーは、より高精細な環境情報を得るためにLiDARを増設するなどの本申請課題用の改修を行う。2024年度では、検証や実験を繰り返しながら提案手法の開発を進めるが、増設し

【1 研究目的、研究方法など（つづき）】

た計算機クラスタを用いてスケーラビリティの検証がメインとなる．さらに，大きな通信遅延が無い環境における実ロボット（自動運転シニアカー）を用いた実際の知識

表 1 本申請課題の研究計画

作業項目	2023	2024	2025
動作過程解析手法の開発	手法開発		
動作解析手法のスケーラビリティ検証	計算機クラスタ増設	スケーラビリティ検証	
実ロボット実験による実際の知識選択過程における検証	実ロボット改修	実ロボットにおける知識選択解析	通信遅延などによる影響の解析

選択過程の解析にチャレンジする．2025年度では，本申請課題の最終年度として北陸先端科学技術大学院大学に設置した自動運転シニアカーを東京工芸大学に設置した知識選択用の計算機クラスタに接続し，明らかな通信遅延が発生する状態における知識選択過程の解析を，提案手法を用いて行う．これにより，提案手法を開発するだけでなくこれまで申請者らが開発した，知識選択型転移学習の実社会実装への課題や可能性を明らかにする．

（5）本研究の目的を達成するための準備状況

本申請課題の目的を達成するためには，ハードウェアプラットフォームとして並列計算を実行する計算機クラスタと，活性化拡散を用いた知識選択により転移強化学習可能な移動ロボットプラットフォームが必要である．申請者らは図4に示すような160物理コアを提供可能な小規模計算機クラスタを所有しており，本申請課題の基礎的な実験や動作検証を行う準備は整っている．しかし，提案手法の解析性のスケーラビリティを評価するために本申請課題では計算機クラスタの増設を行う．また，実験用の移動ロボットプラットフォームとして図5に示す自動運転が可能のように改造されたシニアカーを所有している．図5の自動運転シニアカーはレトロフィット型で自動運転システムが実装されており，車両ベースはスズキ製シニアカーET4Dである．最大6km/hでの走行制限があり大学敷地内でも比較的安全に自動運転に関わる実験が行える準備が整っている．本申請課題では，研究代表者の大学敷地内だけではなく，東京工芸大学に計算機クラスタを設置し，北陸先端科学技術大学院大学の敷地内にて自動運転シニアカーが計算機クラスタとモバイル回線によるインターネットを介した双方向通信を行い，知識選択機能が実プラットフォームに対して現実的な時間で動作可能かも実験を実施する．



図 4 申請者が所有する計算機クラスタ（160物理 CPU コア搭載）



図 5 申請者らが開発した自動運転シニアカー

2 応募者の研究遂行能力及び研究環境

応募者（研究代表者、研究分担者）の研究計画の実行可能性を示すため、(1)これまでの研究活動、(2)研究環境（研究遂行に必要な研究施設・設備・研究資料等を含む）について2頁以内で記述すること。

「(1)これまでの研究活動」の記述には、研究活動を中断していた期間がある場合にはその説明などを含めてもよい。

（1）これまでの研究活動

2017年4月から東京工芸大学工学部電子機械学科（2019年3月から工学部工学科機械コース兼務）において、強化学習ロボットにおける知識選択手法の検討やレスキューロボット遠隔操作を支援する半自律ロボットの研究を行っている。強化学習ロボットの知識選択手法は、認知心理学から得られた知見である活性化拡散モデルを強化学習ロボットの知識選択に応用する研究であり、認知的経済性を実現した膨大な知識の選択手法の実現を目指している（科研費挑戦的萌芽研究16K12493、基盤C 19K12173、どちらも研究分担者）（研究業績学術論文[1][3]）。また、日本原子力研究開発機構の英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（若手研究）（以下、英知事業と呼ぶ）（平成30年度～令和2年度）は研究代表者として自律型レスキューロボットシステムの研究が採択されている（研究業績学術論文[2]、学会発表論文[2]）。英知事業では、本申請課題の分担研究者である千葉工業大学の藤井や北陸先端科学技術大学院大学の池らと共に、災害対応ロボットの自律化を目指し強化学習や転移学習、物理演算シミュレーションを用いた行動獲得と実ロボット制御の研究を行っていた。そのため、河野は本申請課題の代表者として研究遂行する能力を十分に有し、分担研究者と密に連携を取る準備が整っている。

2015年4月から2017年3月まで、東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻において、ImPACTタフ・ロボティクスチャレンジのプロジェクトに従事し、遠隔操作型災害対応ロボットの知能化や遠隔操作支援画像処理システムの研究・開発に従事していた。遠隔操作型災害対応ロボットの知能化研究では、ロボット（バックホー）の片側クローラが故障した際に、残存機能（アームなど）を活用して帰還する動作の学習システムの開発を行った。そのため、研究代表者は実ロボットを用いたフィールド実験などのセットアップ・調整などにも精通している。

2012年から2015年3月において、東京電機大学大学院先端科学技術研究科情報通信メディア工学専攻（博士後期課程）での研究では、異種複数台強化学習ロボット間におけるクラウドを活用した知識の再利用方法の研究を行った。計算機クラスタを用いた複数知識の統合や、オントロジを用いた転移学習のマッピング、知識の再利用度合い調整法などの研究を行った。2010年4月から2012年3月まで、富士通株式会社にて防衛システムのシステムインテグレータとして従事したため、研究活動を中断していた。2008年4月から2010年3月まで、東京電機大学大学院工学研究科情報通信工学専攻（修士課程）において遠隔操作型レスキューロボットの情報収集システムの研究を行っていた。投射可能な無線カメラセンサノードとその投射機構、障害物測距システムなどの研究・開発を行った。

研究業績 学術論文

- [1] Yusaku Takakuwa, **Hitoshi Kono**, **Hiromitsu Fujii**, Wen Wen, Tsuyoshi Suzuki, Autonomous Reusing Policy Selection Using Spreading Activation Model in Deep Reinforcement Learning, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol.12, no.4, pp.8-15, 2021.
（査読有）

【2 応募者の研究遂行能力及び研究環境（つづき）】

- [2] **Hitoshi Kono**, Yuto Sakamoto, **Yonghoon Ji**, and **Hiromitsu Fujii**, Automatic Transfer Rate Adjustment For Transfer Reinforcement Learning, International Journal of Artificial Intelligence and Applications, vol.11, no5/6, pp.47-54, 2020.（査読有）
- [3] **Hitoshi Kono**, Ren Katayama, Yusaku Takakuwa, Wen Wen, and Tsuyoshi Suzuki, Activation and Spreading Sequence for Spreading Activation Policy Selection Method in Transfer Reinforcement Learning, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol.10, no.12, pp. 7-16, 2019.（査読有）

研究業績 学会発表論文

- [1] **河野仁**, 坂本裕都, 温文, 藤井浩光, 池勇勲, 鈴木剛, “知識選択型転移強化学習を用いたシニアカーの自律運転”, 2022年電気学会電子・情報・システム部門大会, pp. 714-718, 広島, 2022.
- [2] **河野仁**, **池勇勲**, **藤井浩光**, “被災地情報収集のための半自律移動ロボットを用いたセマンティックサーベイマップ生成システムの開発”, 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会, 富山（オンライン）, pp.702-705, 2021.

（2）研究環境

申請者は、図4や図5に示した計算機クラスターや自動運転シニアカーのほかに、図6に示すような物理演算シミュレーション環境を所有している。物理演算シミュレーションは図7に示すFujitsu製PRIMERGYサーバを複数台搭載した装置にて実行し、複数の物理演算シミュレーションを同時実行可能である。物理演算シミュレーションにはCyberbotics社製のWebotsを使用し、上述の英知事業にて申請者らは既にシミュレーションするための技術的蓄積を有する。そのため、本申請課題の研究開始後は即座に検証作業やテスト動作を行うための準備が整っている。

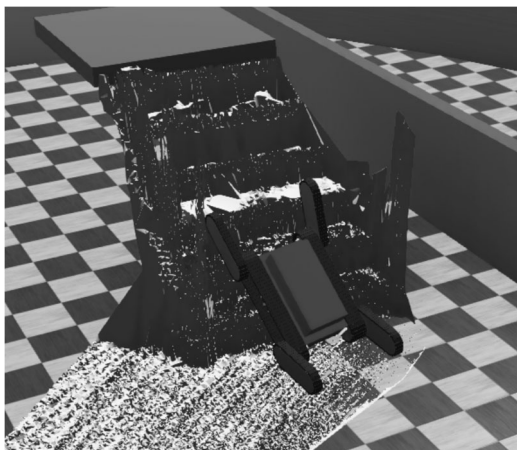


図 6 物理演算シミュレーション例（レスキューロボットモデルによる実環境からスキャンした点群データ階段の昇降学習）

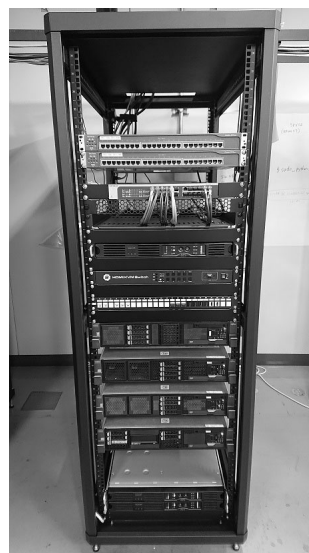


図 7 シミュレーションサーバ群

3 人権の保護及び法令等の遵守への対応（公募要領 4 頁参照）

本研究を遂行するに当たって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究など指針・法令等（国際共同研究を行う国・地域の指針・法令等を含む）に基づく手続が必要な研究が含まれている場合、講じる対策と措置を、1 頁以内で記述すること。

個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査・行動調査（個人履歴・映像を含む）、提供を受けた試料の使用、ヒト遺伝子解析研究、遺伝子組換え実験、動物実験など、研究機関内外の倫理委員会等における承認手続が必要となる調査・研究・実験などが対象となります。

該当しない場合には、その旨記述すること。

本申請課題はロボットシステムや計算機上で動作するプログラムを対象とした研究・開発であり、倫理委員会等の承認が必要な研究計画には該当しない。

4 研究計画最終年度前年度応募を行う場合の記述事項（該当者は必ず記述すること（公募要領27頁参照））

本研究の研究代表者が行っている、令和5（2023）年度が最終年度に当たる継続研究課題の当初研究計画、その研究によって得られた新たな知見等の研究成果を記述するとともに、当該研究の進展を踏まえ、本研究を前年度応募する理由（研究の展開状況、経費の必要性等）を1頁以内で記述すること。

該当しない場合は記述欄を削除することなく、空欄のまま提出すること。

研究種目名	課題番号	研究課題名	研究期間
			平成 年 度～令和 5年度

当初研究計画及び研究成果

前年度応募する理由

[illegible]

設備備品費、消耗品費の必要性

初年度である2023年度では、東京工芸大学が所有する自動運転シニアカーの改修費用として増設用Velodyne LiDAR VLP-16を1台計上し、北陸先端科学技術大学院大学は自動運転シニアカーを新規製作するためスズキ社製セニアカーET4Dと搭載用Velodyne LiDAR VLP-16を1台計上した。北陸先端科学技術大学院大学はLiDARを既に1台所有しているため、新規購入は1台とした。

また、東京工芸大学が所有する計算機クラスタを用いて提案手法のスケラビリティの検証を行うため、計算機クラスタ増設を行うための筐体BitscopeBR40を2台計上した。

増設計算機クラスタに搭載する計算機は2023年度消耗品の組み込み計算機に計上してある。

消耗品としては、各年に計算機クラスタ構築用の電子部品費や自動運転シニアカー製作用の機械部品非を計上し、2023年度では主に研究環境構築用の初期投資であるが、2024年と2025年はそれらの保守部品として100千円計上した。

各年でROBOMECHやSIなどの国内学会にて発表を行うため、100千円から200千円を計上した。2年目の2024年度からはSIIなどの国際会議で積極的に成果公開を行うため、各年で旅費300千円を計上した。そのたとして、2024年度からはジャーナルへの論文投稿とりわけOpen access journalへの投稿を積極的に行うため、100千円を隔年で計上した。

研究費の応募・受入等の状況

(1) 応募中の研究費

基盤研究 (C) (一般) 1 1 - (1)

研究者氏名					
河野 仁					
資金制度・研究費名 (研究期間・配分機関等名)	研究課題名 (研究代表者氏名)	役割	令和5年度の研究経費 (期間全体の額)	令和5年度エフオ - ト (%)	研究内容の相違点及び他の研究費に加えて本応募研究課題に応募する理由等 (左記の研究課題に応募するに当たっての所属組織・役職) (科研費の研究代表者の場合は、研究期間全体の受入額)
【本応募研究課題】基盤研究 (C) (一般) (R5 ~ R7)	知識選択型転移強化学習のための選択動作過程解析手法の開発 (池 勇勲)	代表	1,780 (5,000) (千円)	30	
					(総額 5,000 千円)
基盤研究 (A) (一般) (R5 ~ R8)	犬型4足歩行ロボットとマルチモーダルセンサ融合による次世代極限環境探査技術の 開発 (池 勇勲)	分担	8,500 (11,000) (千円)	20	当該研究課題は、災害対應用ロボットにおける新たなセンサフュージョン技術とロボット制御技術の研究であり、本申請課題とは方法や目的が異なる。(東京工芸大学、准教授) (総額 - 千円)
			(千円)		
			(千円)		
			(千円)		

(2) 受入予定の研究費

資金制度・研究費名(研究期間・配分機関等名)	研究課題名(研究代表者氏名)	役割	令和5年度の研究経費(期間全体の額)	令和5年度エフオー・ト(%)	研究内容の相違点及び他の研究費に加えて本応募研究課題に応募する理由等(左記の研究課題を受入れるに当たっての所属組織・役職)(科研費の研究代表者の場合は、研究期間全体の受入額)
			(千円)		
			(千円)		
			(千円)		
			(千円)		
			(千円)		
(3) その他の活動				50	
合 計				100(%)	