

機関番号	研究種目番号	応募区分番号	小区分	整理番号
32657	06	1	61050	0001

平成31年度 (2019年度) 基盤研究 (C) (一般) 研究計画調書

平成30年10月26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)	スズキ ツヨシ					
	(漢字等)	鈴木 剛					
所属研究機関	東京電機大学						
部 局	工学部						
職	教授						
研究課題名	プロトタイプ理論に基づく強化学習ロボットの知識選択における認知的経済性の向上						
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
	平成31年度	1,870	0	950	800	0	120
	平成32年度	1,550	0	450	960	0	140
	平成33年度	1,580	0	180	1,200	0	200
	平成34年度	0	0	0	0	0	0
	平成35年度	0	0	0	0	0	0
	総計	5,000	0	1,580	2,960	0	460
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	平成31年度 研究経費 （千円）	エフ ォ ー ト （%）
研究代表者	00349789 （50） スズキ ツヨシ 鈴木 剛	東京電機大学 工学部 教授	博士（工学） 研究統括，学習ロボットの基 本設計および知識選択アルゴ リズム開発・実装	510	10
研究分担者	50646601 （37） オン ブン 温 文	東京大学 大学院工学系研究科（工学部） 特任准教授	博士（心理学） 知識群カテゴリーの方法論の構 築	340	5
研究分担者	30781215 （36） 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） 知識群カテゴリーの機械学習手 法の開発	510	10
研究分担者	70758367 （33） コウノ ヒトシ 河野 仁	東京工芸大学 工学部 助教	博士（工学） 複数方策の同時利用手法の開 発	510	10
合計 4 名			研究経費合計	1,870	

環境で学習した知識群から適宜必要な知識（群）を選択して振る舞う方が技術的にも現実的と考える．しかし，このような知識の選択手法に関してはほとんど議論されていない．申請者らは，転移学習を用いた強化学習を基盤に，認知心理学から得られた知見である，ヒトの無意識的な概念の想起方法である活性化拡散モデルを用いた強化学習ロボットにおける知識選択手法を提案し，評価してきた（図1）．これにより，与えられたタスクと関連性の高い知識の想起に基づいて知識の選択と利用が可能であることを確認したが，知識量が膨大になると知識選択のための計算量も指数関数的に増大することが明らかとなった．ヒトの認知行動では知識の選択においてこのような計算量の増大は発生しない（認知的経済性）ことから本研究課題では，認知的経済性を強化学習ロボットにより実現する手法について研究する．

【1 研究目的、研究方法など（つづき）】

なお，ここでの知識とは，ある環境でタスクを実行する際の刺激（センサ入力など）に対する反応（行動の方策など）の集合であり，例えばQ学習ではQテーブルなどが対応する．

(2)本研究の目的および学術的独自性と創造性

申請者らの研究の最終的な目標は，「直観（intuition）」や「直感（inspiration）」といったヒトが無意識的に行う判断のメカニズムをモデル化し，学習ロボットに実装することである．「直観」は論理的な，「直感」は感覚的なひらめきと考えられ，それ

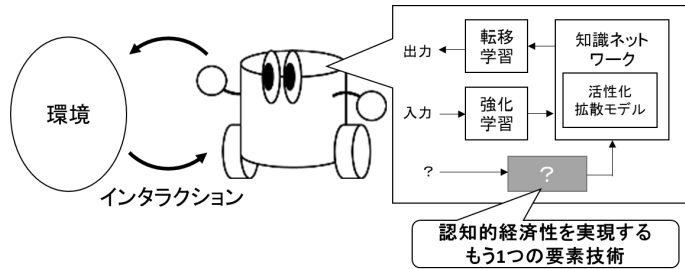


図2 認知的経済性を実現する本研究課題の仮説

ぞれ意味は異なるが，いずれも既獲得の知識や経験に基づき，ヒトが無意識的（思考や分析の時間を経ず）に問題に対する適応的な対応を判断するものと考えられる．これを実装することで，例えば，知能ロボットの新たなタスクへの導入において，環境の拘束条件の緩和，タスクに適応的な行動の迅速な獲得，環境条件の変化への咄嗟の対応などが期待できる．

本研究課題では，そのアプローチの一つとして，主として「直観」的な判断機構の実装を目指し，これまで検討してきた活性化拡散モデルに加え，プロトタイプ理論の導入による強化学習ロボットの効率的かつ高速な知識のカテゴリ化と選択（認知的経済性）の実現を目的とする．すなわち，強化学習ロボットが，既獲得の複数の知識（知識群）をプロトタイプ理論に基づき分類し，与えられたタスクの達成に必要な知識群を活性化拡散モデルに基づき素早く選択する手法を構築する．さらに，部分知識群に含まれる複数方策を結合して同時利用する手法を組み込むことで，タスクに対して適応的に知識を再利用する手法を構築する．

このような，認知心理学的知見に基づく「ヒトの無意識的な判断機構の実装」の試みは独自性があり，また，活性化拡散モデルだけではヒトのような認知的経済性を実現できない，という新たな仮説のもと，その要素技術を提案・構築し検証することは創造性が高いと考える（図2）．本研究課題の成果は，強化学習以外の学習アルゴリズムでも適応可能であり，学習ロボットや学習エージェントの実用化・普及に大きな貢献が期待できる．

(3)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

本研究課題では，次の研究を行う．

プロトタイプ理論に基づき，知識群をカテゴリに分割する方法論の構築（**認知心理学の知見の応用**）

センサ入力情報等から特徴量とそのプロトタイプを抽出し，カテゴリを機械学習する手法の開発（**工学と認知心理学の融合**）

活性化拡散モデルに基づき，カテゴリからの知識群を選択し，複数方策を結合して再利用する手法と強化学習手法の統合（**工学的システム開発**）

認知心理学におけるプロトタイプ理論は，ヒトが見たモノや言語的な特徴量（概念）を，距離を用いて分離（カテゴリ化）してカテゴリ内の概念を代表するような同じ傾向のまとまり（プロトタイプ）として表現し，ヒトが何かを認知する際にはプロトタイプとの類似性を

【1 研究目的、研究方法など(つづき)】

用いて高速に認知(認知的経済性を実現)しているとするものである。このため、ヒトは全ての知識や概念を検索せずに、効率良く物事の認知が可能となっていると考えられる。

本研究課題では、図3のように従来の**方策ネットワーク内の方策群を特徴量に基づきカテゴリとして分類し、仮想的なノードとしてカテゴリ内の方策の傾向を表すプロトタイプを方策ネットワークに接続する**。方策の選択では、観測された**環境特徴量からプロトタイプを選択し、プロトタイプに接続された方策を一斉に活性化**することで、方策選択における計算量削減を目指す。本システムは方策等の特徴量を分離することから非線形分離問題に帰着できるため、Deep learning等を基にカテゴリ化のための特徴量およびカテゴリ内方策群に有用なプロトタイプの取得が可能と考える。また、カテゴリ化の分類は知見の多いk-means法なども有用である。さらに、形成される特徴量やプロトタイプにより出力は変化すると考えられるため、その影響についても分析する。

活性化拡散モデルとは、人間が獲得した概念同士が脳内でネットワーク構造として保存されていることを前提に、ある概念が想起されることで関連する概念も活性化され、概念の利用が促進されるモデルである。申請者らは、転移学習を用いた強化学習への活性化拡散モデルの応用について研究を継続しており、その成果を本研究課題と統合する。さらに、新たに、**複数方策の結合による同時利用については、これまでの申請者らの研究より、複数方策を単純に線形結合するだけでは方策同時利用のメリットが十分に得られない**知見を得ている。トイプロBLEMのようなシンプルなタスクの知識においては複数方策の同時再利用効果が得られるが、様々な方策を統合するほど方策内の行動価値が平滑化され、転移学習の効果が得づらくなる。そのため、本研究課題では**線形結合に用いる重み(転移率と呼ぶ)を、環境の特徴量に応じて変更する**手法を検討する。また、申請者らは転移学習の結果を可視化する転移曲面を提案しており、本研究課題における提案手法の効果を評価することが可能である。

図4に研究体制を示す。鈴木は、研究統括として研究分担者と密に連携し、研究推進を図るとともに、ロボットの基本設計や知識群の選択アルゴリズムの開発・実装を担当する。温は認知科学が専門であり、強化学習ロボットへの実装を考慮したプロトタイプ理論の構築を担当する。藤井は機械学習を用いた診断システムの

研究実績から、カテゴリ化する学習アルゴリズムの開発を担当する。河野はロボットにおける強化学習や転移学習など知能ロボットにおける知識活用が専門であり、複数方策が同時に選択された場合の方策同時再利用方法(方策の結合手法)の構築を担当する。

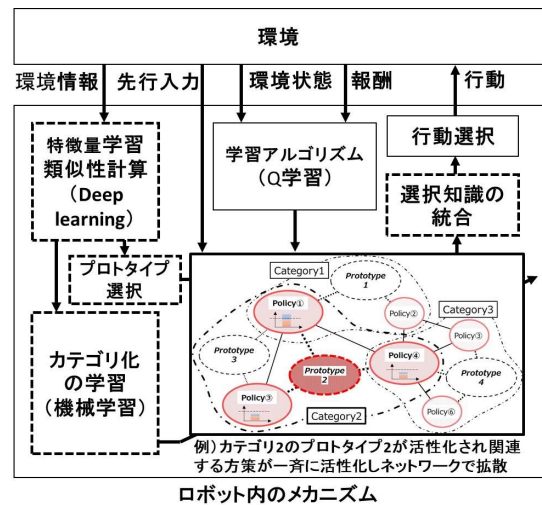


図3 提案手法概念

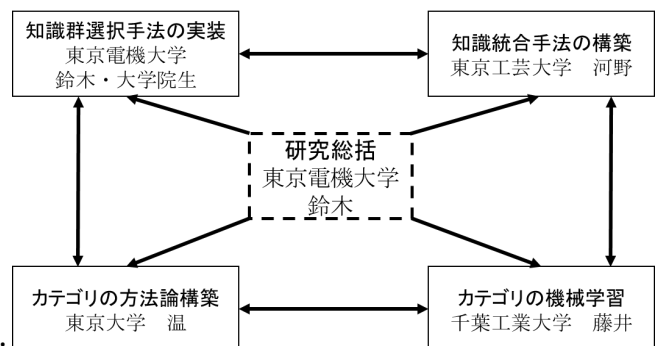


図4 役割分担

2 本研究の着想に至った経緯など

本欄には、(1)本研究の着想に至った経緯と準備状況、(2)関連する国内外の研究動向と本研究の位置づけ、について1頁以内で記述すること。

これまでの智能化技術は、課題となるタスクに特化して学習するものが多く、特定のタスクを効率よく実行可能なことから社会実装の観点からは有用であった。しかし、人工知能技術や知能ロボット技術として期待されるような、**既に学習した複数の知識を再利用し、様々なタスクに対して更に学習を重ねながら適応的にふるまうことは困難**である。

申請者らはこれまでに、認知心理学的モデルを用いた強化学習ロボットの知識選択手法について議論してきた（平成28年度挑戦的萌芽研究「認知心理学におけるプライミング効果を基にした強化学習ロボットによる知識選択」他）。これまでの研究では、選択する複数の知識をネットワーク構造で保

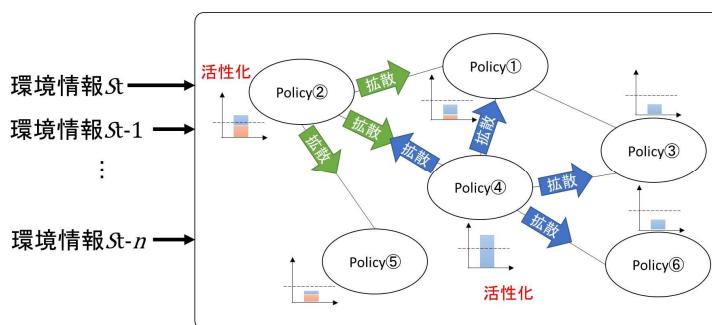


図 5 活性化拡散の例

存し、各知識に与えられた活性値を基に知識を選択する。活性値はセンサなどの時系列で保存された環境情報入力を用いて活性化し、さらにそれがネットワーク構造を通じて関連する知識に活性値が拡散することで環境に対して適切な知識選択を実現する（図5）。これにより、既獲得の知識群をタスク達成に必要な関連性の高い知識から再利用可能であることを確認したが、**活性値や拡散する活性値の計算は、知識の数が増えると指数関数的に増えることが明らかとなった。**

活性化拡散モデルは認知的経済性を実現する理論の1つであるが、計算機での実装を考慮した場合の計算量が増大を削減する必要がある。計算量を削減するために、計算の打ち切りや知識数の制限など、いくつかの手法が考えられるが、これらは認知モデルから逸脱し、効果に対する根拠が明確ではない。そのため、本研究課題のように、**認知的経済性を実現するためには、活性化拡散モデルに加え他の要素機能の実装が必要であると考え、プロトタイプ理論を導入した手法を提案した。**

プロトタイプ理論は，Structure abstracting prototypeモデル [松香ら，2010] やSUSTAINモデル [Love et al., 2004] など様々な数理モデルが検討されており，ニューラルネットワークの一種であるRadial basis function networkでの実装例もある．そのため，本研究課題で採用する予定のDeep learningとの理論的親和性・整合性も高い．Deep learning は学習時間の問題もあるため，既存の数理モデルの実装も視野に入れる．

3 応募者の研究遂行能力及び研究環境

本欄には応募者（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

鈴木・河野は、ネットワークロボットおよび知能ロボットの研究に従事しており、これまでにヘテロジーニアスなロボットシステムにおける転移学習や、複数の学習知識の統合と再利用などの研究を行った。本研究課題は、これまでの研究で得られた知見に基づいている。温は、認知科学的知見の工学システムへの応用について多数の研究業績があり、本研究課題におけるプロトタイプ理論を用いたカテゴリーの方法論や工学モデルの構築に適任である。藤井は、画像処理などの計測技術および計測情報を用いた機械学習に基づく診断システムの研究開発実績が豊富であり、本研究課題においてロボットの視覚情報等と応答を処理し、それを知識群としてカテゴリー化して学習を行うシステムを開発する能力を十分有している。

また、申請者らは、近年、認知心理学的モデルを用いた強化学習ロボットの知識選択手法について議論している（平成28年度挑戦の萌芽研究「認知心理学におけるプライミング効果を基にした強化学習ロボットによる知識選択」他）。これにより、強化学習で獲得した知識群の知識間関係性をネットワーク構造で定義し、センサ情報などの情報を基に環境に対して適切な知識の選択を実現できることを示した。当該研究課題において、鈴木、温、河野はすでに共同研究を行っており、その後、実利的なシステムへの発展に向けた、実ロボットの視覚情報等の計測情報を用いた学習手法の実装において、本研究課題への準備のために藤井を加えて研究体制を整えており、密に連携して研究を行うことが可能である。このように、これまでの研究業績、および、研究体制からも、申請者らによる本研究課題の遂行能力は十分に高いと考えている。以下に、本研究課題に関連する研究代表者と研究分担者の最近の研究業績を示す。

【鈴木・温・河野】

- [1] 高桑優作, 河野 仁, 温 文, 神村明哉, 富田康治, 鈴木 剛, 活性化拡散モデルに基づく強化学習エージェントの転移学習手法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 (Robomech2018), 2P1-F06 (DVD), 2018. (査読有)
- [2] H. Kono, T. Suzuki, A. Kamimura, K. Tomita, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama, Automatic Convergence Estimation by Utilizing Fractal Dimensional Analysis for Reinforcement Learning, The Journal of Instrumentation, Automation and Systems, vol. 3-3, pp.58-70, 2016 (available online in 2017). DOI:<http://dx.doi.org/10.21535/jias.v3i3.934>, 2017.09.26. (査読有)
- [3] H. Kono, Y. Murata, A. Kamimura, K. Tomita, and T. Suzuki, "Knowledge Co-creation Framework: Novel Transfer Learning Method in Heterogeneous Multi-agent Systems", Springer Tracts in Advanced Robotics 112, Distributed Autonomous Robotic Systems The 12th International Symposium, Nak-Young Chong and Young-Jo Cho Editors, Springer Japan KK, DOI 10.1007/978-4-431-55879-8, pp.389-404, 2016. (査読有)
- [4] 河野 仁, 村田雄太, 神村明哉, 富田康治, 鈴木 剛, ヘテロジーニアスな複数台自律エージェントによる階層的転移学習, 計測自動制御学会論文集, Vol.51-6, pp.409-420, 201. (査読有)
- [5] H. Kono, A. Kamimura, K. Tomita, Y. Murata, and T. Suzuki, Transfer Learning Method Using Ontology for Heterogeneous Multi-agent Reinforcement Learning, International Journal

【3 応募者の研究遂行能力及び研究環境（つづき）】

of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 5(10), 2014.
<http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2014.051022>. (査読有)

【温】

- [6] Q. An, Y. Ishikawa, W. Wen, S. Ishiguro, K. Ohata, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama, Skill abstraction of physical therapist in hemiplegia patients rehabilitation using a walking assist robot. International Journal of Automation Technology, vol. 13, no. 2, accepted. (査読有)
- [7] W. Wen, D. Tomoi, H. Yamakawa, S. Hamasaki, K. Takakusaki, Q. An, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama, Continuous estimation of stress using physiological signals during a car race. Psychology, vol. 8, pp.978-986, DOI: 10.4236/psych.2017.87064, 2017. (査読有)
- [8] W. Wen, K. Muramatsu, S. Hamasaki, Q. An, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama, Goal-directed movement enhances body representation updating. Frontiers in Human Neuroscience, vol. 10, 329, DOI: 10.3389/fnhum.2016.00329, 2016. (査読有)

【藤井】

- [9] J. Younes L. Kasahara, H. Fujii, A. Yamashita and H. Asama: “Fuzzy Clustering of Spatially Relevant Acoustic Data for Defect Detection”, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 3, No. 3, pp. 2616-2623, July 2018. (査読有)
- [10] J. Younes L. Kasahara, H. Fujii, A. Yamashita and H. Asama: “Unsupervised Learning Approach to Automation of Hammering Test Using Topological Information”, ROBOMECH Journal, Vol. 4, 13, pp. 1-10, May 2017. (査読有)
- [11] 藤井浩光, 山下 淳, 浅間 一: “打音検査のための自動校正機能を備えた自動変状診断アルゴリズム”, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 834, February 2016. (査読有)

(2)研究環境

本研究課題では，計算機シミュレーションと実ロボットにより評価を行う．タスクとしては，複数の形状での最短経路問題のように静的なタスク，マルチエージェントによる協調箱押し作業のような動的な環境でのタスクなどで検証する．提案手法の検討および計算機シミュレーションでの検証では，申請者らが所有しているワークステーションなどを活用する．実ロボットによる実験では，研究代表者・分担者の研究室で同じロボットハードウェアおよび実験環境を新たに構築し，並行して実験を行う．申請者らは，図6に示すような強化学習および転移学習機能を実装した移動ロボットや実験環境の試作実績があり，これらを基本設計として実験システムを構築する．

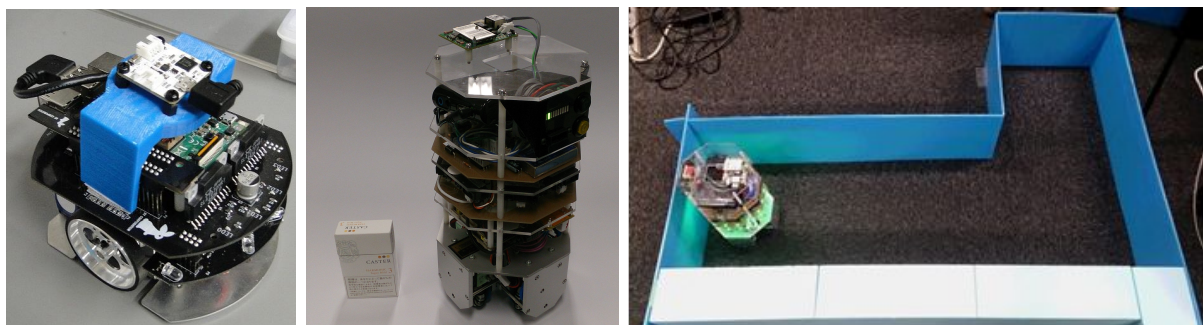


図 6 所有する設備（左から2輪型ロボット，全方向移動ロボット，最短経路問題）

4 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）

本欄には、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。

本研究課題は、ロボットシステムおよびその学習機構を対象とした研究・開発であり、相手方の同意・協力、個人情報の取扱いの配慮、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・法令等に基づく手続が必要な研究には該当しません。

5 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24頁参照））

本欄には、本研究の研究代表者が行っている、平成31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～平成 31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

[illegible]

その他、全方向移動ロボットや実験環境のメンテナンスおよび改良などのために、機械部品費、電気電子部品費、材料費等としてH32年度では450千円、H33年度では180千円を計上した。

基盤研究 (C) (一般) 10 - (1)
(金額単位: 千円)

[illegible]

旅費、人件費・謝金、その他の必要性

H31年度は、研究打ち合わせや、主として調査を目的とした国内外会議参加のための旅費を計上した。また、その他の費用として、実験システム構築のための電気・電子・機械部品等の加工依頼費や、研究展示等による成果公表等の費用を計上した。H32年度およびH33年度は、引き続き研究打合せを密に行うための費用と、主として研究成果の公表を目的とした国内外会議参加費等の旅費を計上した。また、その他として、論文の校閲および投稿などの研究成果公表費用や、実験システムのメンテナンスのための電気・電子・機械部品等の加工依頼費を計上した。

研究費の応募・受入等の状況

基盤研究(C)(一般)11-(1)

(1) 応募中の研究費

研究者氏名	鈴木 剛				
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	平成31年度 の研究経費 (期間全体の額)	エフォ -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 (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)	プロトタイプ理論に基づく強化学習ロボットの知識選択における認知的経済性の向上	代表	510 (1,345) (千円)	10	(総額 5,000 千円)
(H31～H33)					
基盤研究(C)(一般)	LCX接続型移動ロボットの遠隔操作のための操作パケットを用いた通信品質評価手法	分担	200 (900) (千円)	5	被災した閉鎖空間内での情報収集活動支援のための、漏えい同軸ケーブルを用いた移動ロボットの無線遠隔操作を考慮した操作コマンドパケットによる通信品質計測手法の開発を行う研究であり、本応募研究課題とは目的および期待される成果が異なる。
(澤井 圭)					
(H31～H33)					(総額 - 千円)
			(千円)		
			(千円)		
			(千円)		

基盤研究 (C) (一般) 11 - (2)

[illegible]