

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00363

研究課題名(和文)人と協調して整頓を行うロボットシステムの構築

研究課題名(英文)A system that tidies up through the cooperation between a robot and a human

研究代表者

郷古 学 (Gouko, Manabu)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：30447560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間とロボットとが協調してテーブル上の片付けを行うシステムの実現を目指し、ロボットによる片付けの促しについて、実験を通じて検証した。その結果、作業者の離席時に、テーブル上に放置された道具をロボットが落とす排除行動が、作業者の片付けへの動機付け、および実際の片付けにつながることを示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a system that tidies up through the cooperation between a robot and a human. We investigated the influence of a robot's behavior on the motivation of tidying up. For completing this system, it is necessary to investigate the effective behaviors that encourages a human. To validate what behavior effectively encourage human to tidy up, we conducted a preliminary experiment with 13 male and 5 female participants, aged 20-23. We found the statistically significant difference between the cases where the robot took actions or not.

研究分野：Human robot interaction

キーワード：Tidying up Robot Human robot interaction

## 1. 研究開始当初の背景

少子高齢化社会を迎えた我が国では、家事労働を代行するロボットなど、生活支援を行う工学システムの実現が重要な課題である。家事の中でも、ゴミや汚れを取り除く清掃や、道具を所定の場所へ配置する整頓(片付け)は、快適な住環境のみならず、生産性の高いオフィスの実現にも不可欠である。家庭やオフィスの清掃に関しては、iRobot社のルンバに代表される“お掃除ロボット”が既に実用化されているが、整頓を行うシステムは未だ存在しない。

整頓作業(タスク)は、環境中から片付けの対象となる物体を識別する物体識別と、それらの物体を所定の場所へと運ぶ搬送という、二つのサブタスクから成る。本課題では、各サブタスクをロボットと人間が分担する協調型システムの構築を目指している。

これまでに、物体の自動識別に関する研究は盛んに行われている。研究代表者らも、ロボットの物体識別モデルを提案し、実ロボットを用いて、その有効性を示してきた。

一方で、搬送の自動化に関する研究は、工場や倉庫のような、搬送対象の形状や搬送先が限定される環境を対象としたものが多く、家庭やオフィスを対象とした研究はほとんど行われていない。これは、それらの環境では整頓対象となる物体や、その片付け場所が多岐にわたり、タスクの定型化が困難であることに起因している。

近年、ロボットだけでは解決が困難な、実環境における問題解決手法の一つとして、人間とロボットとが協調して解決を目指す Human Robot Interaction (HRI) が注目を集めている。HRI による清掃や整頓に関する研究では、ゴミや散乱したおもちゃの片付けを促すロボットが提案されている。このように、ロボットが直接片付けるのではなく「人間に片付けを促す」という方法は、定型化が困難

なタスクへの対応を可能とし、加えて、人間に片付けを習慣化させることも期待できる。

しかし、これまでに提案されたロボットは、物体識別機能を有しておらず、特定の物体のみを片付ける場合や、物体に応じて片付ける場所が異なるという、より現実的な問題設定には適用できない。

## 2. 研究の目的

本課題では、テーブルの上に散乱している物体を対象に、それらをロボットと人間とが協調して整頓するシステムの構築を目的とする。

本システムでは、ロボットはテーブル上の物体の中から、整頓すべき物体を識別し、人間とのインタラクションを通じて、その搬送を人間に促す。協調により整頓作業全体の効率化や片付けの習慣化が期待できる。

本システムでは、テーブル使用者の邪魔にならないように小型ロボットを用いる。また、インタラクションをロボットの動作のみに限定し、言語に依存しないシステムの実現を目指す。

## 3. 研究の方法

本課題における具体的な実施事項は次の3点である。

### (1) 追加学習可能な物体識別モデルの構築

これまでに研究代表者らが提案した物体識別モデルを改良し、新しい識別モデルの構築を行う。

### (2) 搬送の動機付けにつながるインタラクションの解明

被験者実験により、搬送の動機付けにつながるインタラクションを明らかにする。

### (3) 整頓システムの開発

前項までに構築した追加学習可能な物体識別モデルと、インタラクションの知見をもとに、実際の整頓システムの構築する。

## 4. 研究成果

### (1) 追加学習のための高速学習法の提案

追加学習を実現する上で不可欠な、高速な学習アルゴリズムを提案すると共に、シミュレーション実験により性能評価を行った。シミュレーションの結果、従来よりも高速かつ安定した学習が実現できることを確認した。

### (2) 搬送の動機付けにつながるインタラクションの解明

被験者実験により、人間に物体搬送を促すロボットの行動（インタラクション）を明らかにした。具体的には、ロボットによるテーブル上の物体の排除行動が、テーブルでの作業者の片付けの動機づけに繋がることの実験により確認できた。

### (3) 整頓システムの開発

実際の整頓システムとして、机上のペン立て型ロボットのプロトタイプを作成し評価を行った。複数の大学生に評価実験に参加してもらい、片付けシステムの効果および問題点について明らかにすることができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

(1) 郷古 学, 金 天海, “テーブル上の物体の片付けを促すためのロボットの振る舞い,” 人工知能学会論文誌, Vol. 32, No. 5, pp. E-H31\_1-8, 2017.

(2) Manabu Gouko, “Perceptual organization of objects placed on a table and their level of disorder,” Psychology, vol. 7, no. 5, pp. 7, 709-713, 2016.

[学会発表](計24件)

<国際会議発表>

(1) Akihiro Ogasawara, Manabu Gouko, “Stationery Holder Robot that Encourages Office Workers to Tidy their Desks,” Proceedings of 5th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2017), pp. 439-441, Bielefeld, Germany, (2017-10).

(2) Manabu Gouko, Yuka Arakawa, “A coaster robot that encourages office workers to drink water,” Proceedings of 5th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2017), pp. 447-449, Bielefeld, Germany, (2017-10).

(3) Manabu Gouko, “Judgments regarding order and disorder in perceptual organization of stationery on a table,” Book of Abstracts 3rd International Conference on Public Health 2017 (ICOPH 2017), pp. 208, Kuala Lumpur, Malaysia, (2017-7).

- (4) Takuya Sugimoto, Manabu Gouko, "Speeding Up Exploratory Behavior Learning for Object Recognition," Proceedings of IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control (ISC 2017), pp. 92-97, Calgary, Canada, (2017-7).
- (5) Manabu Gouko, Chyon Hae Kim, Yuichi Kobayashi, "Active Perception Model Extracting Object Features from Unlabeled Data," Proceedings of 18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2017), pp.518-523, Hong Kong, China, (2017-7).
- (6) Akihiro Ogasawara, Manabu Gouko, "Prototype stationery holder robot that encourages office workers to maintain a tidy desktop," Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2016), pp.2192-2197, Qingdao, China, (2016-12).
- (7) Manabu Gouko, Chyon Hae Kim, "Can object-exclusion behavior of robot encourage human to tidy up tabletop?," Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2016), pp.1838-1844, Qingdao, China, (2016-12).
- (8) Chyon Hae Kim, Yusuke Kon, Ricardo Navarro, Manabu Gouko, Yuichi Kobayashi, "Effective Reward Function in Discernment Behavior Reinforcement Learning based on Categorization Progress," Proceedings of 2016 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2016), pp.300-305, Cancun, Mexico, (2016-11).
- (9) Kanta Watanabe, Shun Nishide, Manabu Gouko, Chyon Hae Kim, " $\epsilon$ -Greedy Babbling -Exploitation and Exploration in Online Incremental Babbling-," Proceedings of IEEE Inter. Conf. on Intelligent Robotics and Systems (IROS ' 2016), Workshop on Artistically Skilled Robots, Daejeon, Korea, (2016-10).
- (10) Kanta Watanabe, Shun Nishide, Manabu Gouko, Chyon Hae Kim, "Fully Automated Learning for Position and Contact Force of Manipulated Object with Wired Flexible Finger Joints," Proceedings of The 29th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2016), pp. 753-767, Morioka, Japan, (2016-8).
- (11) Takuya Sugimoto, Manabu Gouko, "Acquisition of hovering by actual UAV using reinforcement learning," Proceedings of 2016 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE 2016), pp. 148-152, Beijing, China, (2016-7).
- (12) Kanta Watanabe, Akio Numakura, Shun Nishide, Manabu Gouko, Chyon Hae Kim, "Efficient Body Babbling for Robot's Drawing Motion," Proceedings of the 2015 IEEE

International Conference on  
Mechatronics and Automation (ICMA  
2015), pp.1162-1167 Beijing, China,  
(2015-8).

< 国内発表 >

- (13) 石墨渚沙, 郷古 学, “植物とのインタラクションが可能な鉢植えロボットの開発,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018(ROBOMECH2018), 発表予定.
- (14) 小笠原聡大, 郷古 学, “ロボットによる片付けの促しが作業効率へ与える影響,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018(ROBOMECH2018), 発表予定.
- (15) 杉本卓哉, 郷古 学, “物体識別のためのロボットの行動学習の高速化,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017(ROBOMECH2017), 講演論文集(DVD), 2P1-F05, (2017-5).
- (16) 小笠原聡大, 郷古 学, “机上の片付けを促すペン立てロボット,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017(ROBOMECH2017), 講演論文集(DVD), 2A1-L08, (2017-5).
- (17) 郷古 学, 金 天海, 小林 祐一, “学習型能動知覚モデルを用いた物体特徴の自己組織化,” 第 44 回知能システム・シンポジウム資料, B1-4, (2017-3).
- (18) 郷古 学, “テーブル上の文具の配置から知覚される乱雑さ,” 日本認知心理学会第 14 回大会, ポスター番号: P1-04, (2016-6).
- (19) 郷古 学, “文具が配置されたテーブルから知覚される乱雑さ,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016(ROBOMECH2016), 講演論文集(DVD),

1A2-F12a4, (2016-6).

- (20) 杉本卓哉, 郷古 学, “実機 UAV を用いた強化学習によるホバリングの実現,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016(ROBOMECH2016), 講演論文集(DVD), 1P1-04b2, (2016-6).
- (21) 小笠原聡大, 郷古 学, “共感により人に片づけを促すロボットの行動に関する研究,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016(ROBOMECH2016), 講演論文集(DVD), 1A1-14b6, (2016-6).
- (22) 郷古 学, “テーブル上の物体の配置と乱雑さの知覚,” 日本認知心理学会第 13 回大会 講演論文集, pp.78, ポスター番号: P1-39, (2015-7).
- (23) 郷古 学, 金 天海, “テーブル上の物体の片付けを人に促すためのロボットの行動,” 第 29 回人工知能学会全国大会, 講演論文集, 1D4-0S-22a-4in, (2015-5).
- (24) 郷古 学, “テーブル上の物体を対象とした乱雑さと知覚的体制化” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015(ROBOMECH2015), 講演論文集(DVD), 1P1-F01, (2015-5).

[その他]

ホームページ等

[http://www.ipc.tohoku-gakuin.ac.jp/ai/lab/?page\\_id=5](http://www.ipc.tohoku-gakuin.ac.jp/ai/lab/?page_id=5)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

氏名: 郷古学 (GOUKO, Manabu)

所属: 東北学院大学・工学部・教授

研究者番号: 30447560

(2)研究分担者

氏名：金天海 (KIM, Chyon Hae)

所属：岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：30424815

(3)連携研究者

氏名：小林祐一 (YUICHI, Kobayashi)

所属：静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：60373304