

TansuBot: 開閉履歴および収容物画像により 物品探索を支援する引き出し型収納システム

— 物品探索効率化に対する収容物画像と開閉履歴の有効性評価 —

福井 類^{*1}, 砂川 拓哉^{*1}, 上阪 周平^{*1},
渡邊 匡彦^{*1}, 佐藤 知正^{*1}, 下坂 正倫^{*1}

TansuBot: A Drawer-type Storage System for Supporting Object Search with Contents Photos and Usage Histories

— Effectiveness Evaluation of Contents Photos and Usage Histories
for Improving Object Search —

Rui FUKUI^{*1}, Takuya SUNAKAWA^{*1}, Shuhei KOUSAKA^{*1},
Masahiko WATANABE^{*1}, Tomomasa SATO^{*1} and Masamichi SHIMOSAKA^{*1}

^{*1} Department of Mechano-Informatics, the University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

This paper intends to evaluate the effectiveness of Tansubot: intelligent drawer-type storage system in object search tasks at home. TansuBot provides functions to make the time short for object search. By using this system, a user can review the photos of contents stored in the system with a smart device. In addition, the system can present candidate drawers where the target object may be stored, based on preliminary information such as photos and usage histories. Concretely, LED emission and a pop-up action (pushing a drawer forward) are used for display. To realize these functions, a stacker crane type wall-moving robot is equipped at the backside of the storage. The robot has a movable camera and mechanisms to push a drawer forward. This paper evaluated the functions for supporting object search. The results of the experiment proves the importance of the functions: displaying contents photos on a smart device and showing candidate drawers. The results indicate that those functions have positive effects on reduction of searching time and mental burden.

Key Words : Home Robot, Human-machine Symbiotic System, Storage System, Object Search Support

1. 緒 論

一般家庭において、収納に不満を抱えている人が多い⁽¹⁾。このため人々の収納に関する関心は高く、今日多数の専門書⁽²⁾が出版されている。収納に対する不満の原因のひとつとして、モノ探しを抜本的に解決する革新的な手法が未だ見つかっていないことが挙げられる。特に文房具・PC サプライなどの日用小物は、欲しいときにすぐに見つけられないという状況がしばしば発生する。これは小物が多種多品で入れ替わりが激しいため、収納場所を固定しづらく、他物品と混同しやすいからである。また複数人が暮らす環境下においては、すべての物の定位置を取り決めておき、それを同居者に強制することは困難である。そのため、自分が欲しいものを他人が別の場所に移動したために見つ

けられないことがある。

家庭内の物品管理や物品探索を支援するシステムとして、これまで様々な方法が提案されてきた。そのひとつに、各物品に RFID タグ^{(3)~(8)} や AR マーカ⁽⁹⁾などでタグ付けして管理する方法がある。この方法では、タグ付けされた物品を確実に管理できる一方で、管理すべき物品一つ一つにタグを取り付ける必要がある。小物の管理にこれを使用する場合、タグの貼り付けが煩雑であり、タグが物品の使用感を損なう場合も少なくない。一方でタグ付けが不要な手法として、カメラ画像を用いる手法が挙げられる。部屋全体に複数のカメラを取り付ける手法^{(10)~(12)}では、部屋中の物品を広く監視可能である。しかし小物をとらえるためには、高解像度のカメラあるいは高倍率のズーム機能をもったカメラを複数台用意する必要がある。このため導入コストが高くなる。また物品が物陰に隠れてしまうと発見できないという制限もある。カメラをユーザ視点

^{*1} 東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻
(〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1) {fukui, sunakawa,
kousaka, masahiko, tsato, simosaka}@ics.t.u-tokyo.ac.jp

に取り付ける手法^{(13)~(16)}では、導入コストが小さく済み、特定のユーザに対し効率的に物品の情報を提供できる。一方でユーザの行動が制限されたり、装置を常に装着していることで、ユーザが煩わしく感じることがある。

カメラ画像を使用する際のこれらの問題は、探索領域をひとつの棚といった特定の領域に限定することで解決可能である。BoxFinder⁽¹⁷⁾やDrawerFinder⁽¹⁸⁾では、棚型の収納庫の上部にその全体を見渡せるカメラを取り付け、引き出しや収納箱の中身を使用時に随時撮影、記録している。この手法では少数のカメラで棚の内容物の画像を効率的に取得できる一方で、画像のブレや棚との重なりなどにより、内容物を常に安定してとらえられるとは必ずしも言えない。各引き出し内部にカメラを取り付ける手法^{(19) (20)}も提案されているが、安定的に内容物の画像を撮影できる一方で、引き出しの数だけカメラが必要で、引き出しを増やせば増やすほどシステムが複雑化しコストが増大してしまう。

そこで我々は、先行研究⁽²¹⁾で家庭内での小物の効率的な管理のための収納システム“TansuBot”(図1)を提案した。本システムでは、筆筒型の棚をベースとし、移動式カメラと引き出しの開閉検知スイッチを用いて物品管理を行う。ユーザが本システムを使用するたびに、収容物画像と使用履歴(引き出しの開閉履歴)を取得・蓄積していき、これらを用いてユーザの物品探索を支援可能なシステムの実現を目指す。本手法では、各物品にタグ付けを施す必要がない。また引き出しをユーザが使用するたびに、内容物を自動で確実に撮影できる。ひとつの棚にシステムが集約されているため、導入も容易である。

我々は先行研究⁽²¹⁾で本システムのプロトタイプのハードウェアを開発した。本論文では先行研究を発展させ、取得した情報をもとにして物品探索を支援する機能を本システムに実装する。また、これらの機能を被験者に使用してもらった実験を行う。この実験で、探索時間および精神的負担の面でこれらの機能が物品探



Fig. 1 The prototype of TansuBot.

索を効率化する有効な手段であるかを検証する。

本論文の構成は次の通りである。第2章で本システムの使用法と基本構成について述べ、第3章で実際に試作したシステムの設計について述べる。本システムが搭載する機能の評価について第4章で述べ、第5章で結論を述べる。

2. 物品探索支援のための引き出し型収納システム

本章では本システムの使用法と基本構成について述べる。本システムでは各引き出しの開閉履歴と収容物画像を取得・蓄積可能である。これらの情報を用いて、図2のようにユーザに対して物品探索を支援する機能を提供する。(a)ユーザは携帯小型端末を用いて、各引き出しの収容物画像を閲覧することができる。これにより端末の画面上で物品探索を行える。本システムでは、現在の状態だけでなく過去の状態も閲覧可能である。また(b)「3時間ぐらい前に使ったもの」などのように絞り込み条件を与えることによって、蓄積された情報を元に探索すべき引き出しの候補を提示させることができる。提示手法はLEDの点灯およびポップアップ(引き出しの押し出し)である。候補の数が多い場合、ポップアップは引き出しを元に戻す手間を増やしてしまうので、ポップアップは候補が少ない場合にのみ使用する。しかしながら、ポップアップはユーザにとってよりインタラクティブな手法である。提示手法としてのLEDとポップアップの有用性については、先行研究⁽²¹⁾で本システムのモックアップを用いた実験を行い、既に確認済みである。インタフェースに携帯小型端末を用いることで、これらの機能をユーザは時間と場所を気にせず使用できる。これらの機能によりユーザの物品探索が効率化されることが期待される。

これらの機能を提供するための装置構成は図3のようになる。各引き出しには表示用のLEDと開閉検知用のスイッチを取り付ける。また棚裏面には壁面移動ロボットを取り付ける。このロボットは産業用スタッカクレーン⁽²²⁾の荷物の出し入れの動作を廃して簡素化したものである。このロボットは先端にカメラの付いた伸縮アームを有しており、アームを引き出しの真上の空間に伸ばしカメラを挿入して内容物画像を取得す

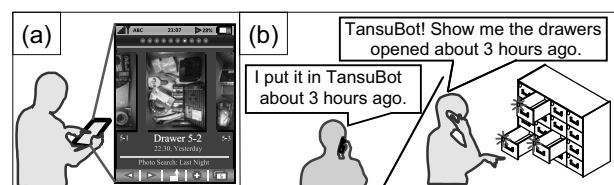


Fig. 2 Example stories of how to use TansuBot.

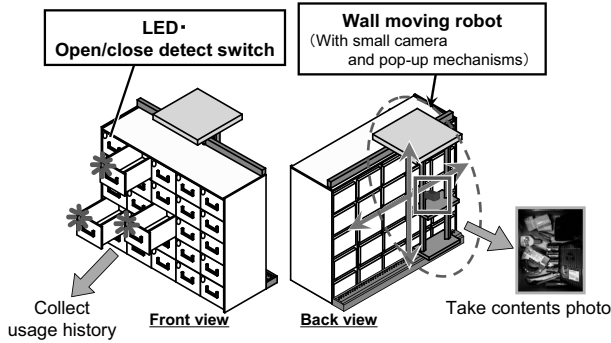


Fig. 3 Total system configuration of TansuBot.

る。またこのアームを伸ばして後ろから引き出しを押し出すことでポップアップ機能を実現する。

3. TansuBot の試作

本章では実際に製作したシステムのプロトタイプ概要を述べる。特に物品探索を支援する機能の構成法について詳細に述べる。

3.1 ハードウェアの概要 本システムの構成を図4に示す。壁面移動ロボットはカメラ挿入部、上部、下部、カウンターウェイトおよび垂直レールからなる。ロボット全体は上部レール、下部レールにガイドされ左右移動し、カメラ挿入部は垂直レールにガイドされワイヤ駆動により上下動する。

ロボットのカメラ挿入およびポップアップまでの動作の流れを図5に示す。まず、ロボット全体を左右移動し、次にカメラ挿入部を上下移動させる。その後、内部画像撮影時は伸縮アームを伸ばして各引き出しの上に空いているカメラ挿入スペースにカメラを挿入する。また、ポップアップ動作時はアームを伸ばして引き出しの裏板に接触させ、引き出しを押し出す。

3.2 電装系・ソフトウェアの概要 本システムのブロック図を図6に示す。本システムは AVR マイコンを搭載した4つの分散された制御基板と Linux ベースのボードコンピュータである BeagleBoard からなる。

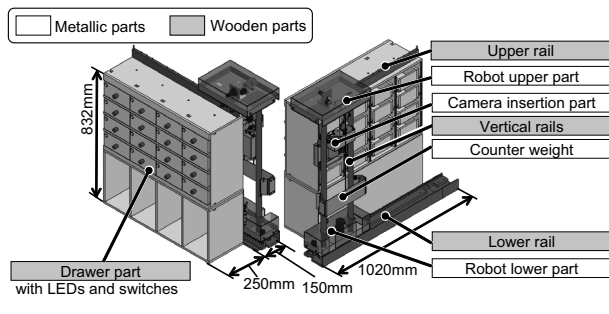


Fig. 4 The framework of TansuBot prototype.

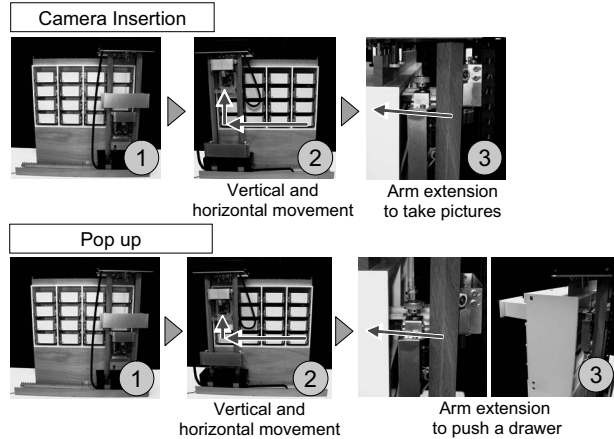


Fig. 5 Sequential snapshots of robot motions.

制御基板はロボットの動作制御、棚の状態制御の役割を担う。BeagleBoard は画像処理、各種使用情報の蓄積およびユーザへの情報提供のための Web サーバの役割を担う。制御基板および BeagleBoard は互いに無線通信 (XBee) で情報のやりとりを行う。

3.3 収容物画像の撮影と処理 各引き出しの収容物画像の撮影・処理手順を図7に示す。収容物画像は複数位置で撮影された元画像を結合することで得ている。これはカメラの画角の都合上、一度では引き出し内部の全範囲を撮像できないからである。図7左は引き出し及び伸縮アームを真上から見たものである。元画像はアームの先端についたカメラを図のような経路で移動しながら撮影する。

カメラ位置の移動には前後方向 (図中上下方向) と左右方向の2方向がある。カメラの前後・左右移動はそれぞれアーム伸縮・ロボット左右移動によって実現される。前後方向の位置決めは、アームの伸縮量をポ

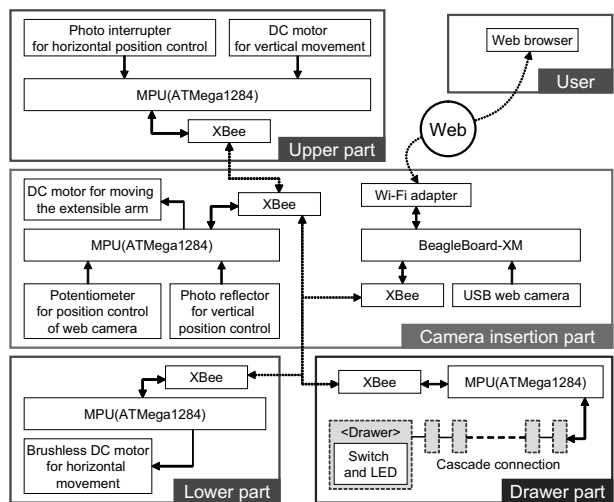


Fig. 6 System block diagram of electrical components.

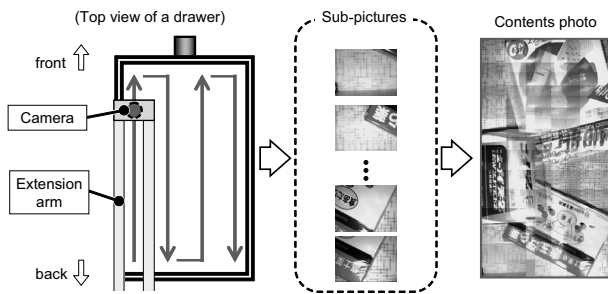


Fig. 7 The method to take a contents photo of a drawer.

テンショメータで計測しており、十分な精度が確保されている。一方で左右方向の位置決めは、位置認識用ピンとフォトインタラプタの組み合わせで行っているため、その精度は前後方向に比べると低い。このことを考慮し画像の結合を行う。まず元画像を前後方向の列ごとに結合する。結合位置は前後方向の位置決め精度が十分良いため、あらかじめ決めてある。これにより得られた前後方向の列ごとの結合画像を、互いに左右方向に結合する。左右方向の位置決め精度が悪いため、結合位置はテンプレートマッチングにより決定される。このようにして図7のような収容物画像を生成し保存する。

3.4 ユーザへの情報提示 これらの画像や開閉履歴などの情報は集約され、Web ブラウザを用いて閲覧・検索することができる。例えば収容物画像は図8のように一覧表示することができる。このWeb ページは CGI を用いて作られており、ユーザは画像をクリックすることで、該当する引き出しの LED 点灯やポップアップ動作を指示できる。

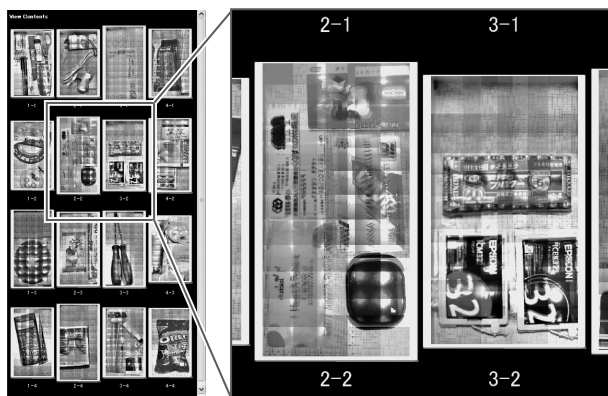


Fig. 8 Contents display on a web browser.

4. 物品探索支援機能評価実験

本システムに搭載した物品探索支援機能の有効性を評価する実験を行った。これらの機能を使用することによって、ユーザの物品探索にかかる時間が短縮されるかどうか、またユーザの心理的負担が低減されるかどうかを検証した。

4.1 実験設定 本実験では、一般家庭で頻繁に使われると考えられる日用品 40 種類を用意した。まず被験者にこれらの日用品をすべて提示し、その色や形状を把握してもらった。その後これらを本装置に収納した。そしてこの装置から被験者に指定した物品を探索させ、それにかかる時間を測定した。このとき探索に使用する方法として、次の 3 種類を試した：(1) 一切機能を使わない場合 (図 9-1)，(2) タブレット端末で画像を閲覧し、目的の物品を見つけたらその画像を押して該当する引き出しを LED で提示させる場合 (画像閲覧機能，図 9-2)，(3) 端末上のボタンを押すと、目的物のある引き出しの候補 N 個が LED で提示され、その中から探す場合 (探索候補提示機能，図 9-3)。

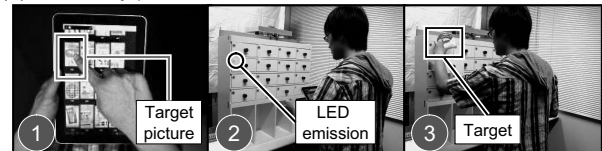
(2) は携帯小型端末で画像を閲覧する機能 (図 2(a) に対応) を、(3) は開閉履歴などの情報をもとに、探したい物品の入っている引き出しの候補を絞り込む機能 (図 2(b) に対応) をシミュレートしたものである。なお、本実験では N を 3 と設定した。

被験者には、実験終了後アンケートへの回答を依頼した。このアンケートでは、各探索手法ごとのユーザの精神的負担を比較するための質問を用意した。この質問では、各探索手法において、ユーザが (a) どれだけ頭を使ったか、(b) どれだけ手を動かしたか、(c) ど

(1) No support



(2) Search by photos



(3) Show 3 candidate drawers

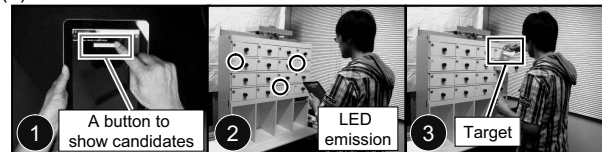


Fig. 9 Sequences of three experimental procedures.

れだけイライラを感じたか、(d) どれだけ時間に追われたかを、0～10点(0.5点刻み)で主観的に評価させた。

日用品の収納の仕方は試行ごとに変えてある。よって、被験者は何がどこにあるかを記憶することはできない。被験者は20代～30代の男女15人(男性12人、女性3人)で、1被験者の試行数は探索方法1つにつき5試行、合計15試行である。

4.2 実験結果 物品探索時間の平均値の比較を図10に示す。何も機能を使用しないときに比べ、これらの機能を使用したほうが、探索に掛かる時間の平均が低下している。またばらつきも減少している。機能を使用しない場合と、探索候補提示機能を用いた場合の平均値の差は有意であった($t(82) = 5.20, p = 7.3 \times 10^{-7} < 0.05$)。しかしながら、機能を使用しない場合と、画像閲覧機能を用いた場合の平均値の差は有意ではなかった($t(144) = 1.354, p = 0.080 > 0.05$)。

また各探索手法について、質問紙の回答結果の平均(数値による評価)を図11に示す。この結果によれば、手を動かした量及び時間的な忙しさは機能の使用で大幅に低減できたといえる。イライラの度合いも機能の使用により若干ではあるが低減している。また頭を使った度合いは、他の2つに比べて、画像閲覧機能を用いた場合が突出して高い値を示している。

4.3 考察

4.3.1 画像閲覧機能の有効性 本実験の探索時間の結果を比較すると、機能の使用によりわずかに時間が短縮がされているものの、有意な差であるとは言えない。本機能を使用した場合、各引き出しを開けて

物品探索を行う必要がないため、その分手間がかからず、時間もそれだけ短縮されるはずである。実際に主観評価の結果では、(b)手を動かした量に大幅な差があることが分かる。また、(c)どれだけイライラを感じたか(d)どれだけ時間に追われたかについても大幅な低減が見られる。よって被験者は時間的・精神的に余裕をもって物品探索ができていたことがわかる。

それにもかかわらず探索時間に有意な差が出なかった理由には、閲覧画面の視認性の低さとユーザのタブレット端末への慣れが挙げられる。閲覧画面の利便性向上のため、今後画像の連結・生成手法についてさらに改良を施す必要がある。また、画像中の物品の色や形状の情報を強調する必要もある。これは物品のこれらの特徴が探索時間に大きく影響しているからである。図12に示すように、探索時間は物品が特徴的な形状や鮮やかな色を有するときに短くなる傾向にある。

ユーザのタブレット端末に対する慣れの影響は、被験者の試行回数に着目することで明らかになる。図13のグラフは、(2)画像検索機能の探索時間平均について、全5試行のうち1～3回目の平均と3～5回目の平均を比較したものである。これによると、1～3回目の平均よりも3～5回目の平均の方が探索時間が短縮されており、そのばらつきも小さい。また3～5回目の平均については、機能不使用時の平均に対して小さく、その差も有意である($t(113) = 2.25, p = 0.013 < 0.05$)。実際に、本実験の被験者の半分以上は日常的にタブレット端末を使用していない。後の試行になればなるほど端末をスムーズに操作できるようになったと考えられる。この結果は、ユーザが十分にタブレット端末の操作に慣れていれば、画像閲覧機能が物品探索時間

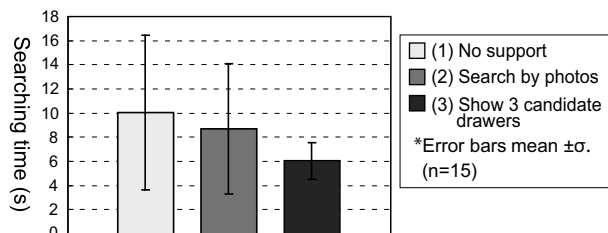


Fig. 10 Comparison of searching time.

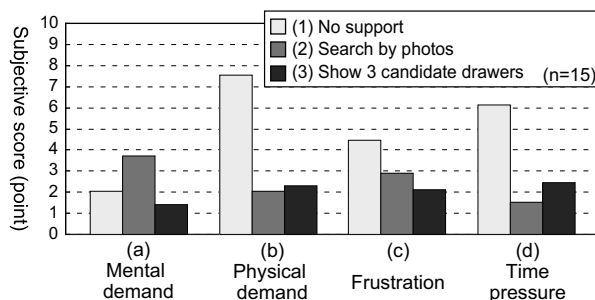


Fig. 11 Comparison of questionnaire's results.

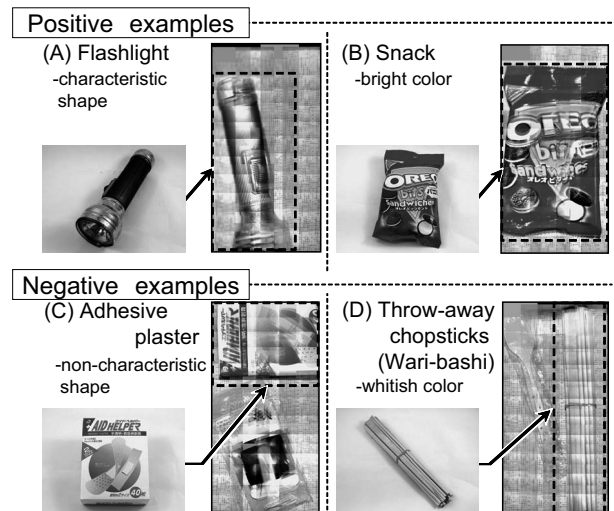


Fig. 12 Examples of positive/negative photo for object searching tasks.

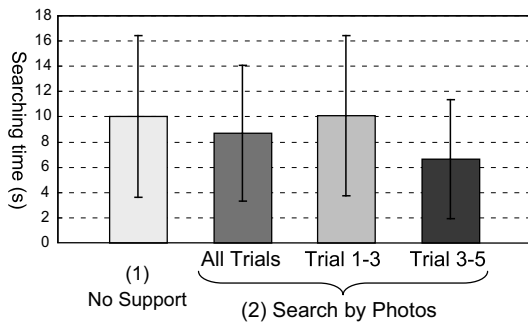


Fig. 13 Effect by habituation in the experiment.

を短縮できる可能性を示している。

4.3.2 探索候補提示機能の有効性 探索候補提示機能を使用することで、物品探索にかかる時間が低減されることが本実験で示された。またその探索時間のばらつきも低減している。主観的評価でも、(b)手を動かした量、(c)どれだけイライラを感じたか、(d)どれだけ時間に追われたかの3項目で、機能を使用することにより得点の大幅な低下がみられた。よって候補絞り込み機能の重要性が確認された。

ただし今回の実験設定では、候補を絞り込む過程の部分が十分に考慮されていない。この過程が煩雑になってしまうと操作に時間がかかり、本機能の有効性は失われてしまう。よって、候補を絞り込むためのインタフェースの作り込みは極めて重要な課題である。

5. 結 論

本研究では、移動式カメラにより収容物画像を自動取得し、ユーザの物品探索を効率化する収納システム“TansuBot”の開発を目標とした。先行研究で製作したシステムのプロトタイプに、収容物画像や開閉履歴により物品探索を支援する基本機能の実装を行った。またこれらの機能の評価実験を行った。この実験の結果から、画像閲覧機能や探索候補提示機能の使用により、物品探索時間や探索時の精神的負担が低下することが確認された。

今後本システムに改良を加えた上で、実際の家庭に導入しての実験を行い、家庭環境で物品探索がどのように効率化されるのかを検証したいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省住宅局. 平成 20 年住生活総合調査結果. <http://www.mlit.go.jp/common/000132799.pdf>, 2008.
- (2) 近藤麻理恵. 人生がときめく片づけの魔法. サンマーク出版, 2010.
- (3) R. Fukui, et al. Home-use object transfer/storage robot system with compliant strategy and mechanism

(commodities management and its extended application of daily life support for the elderly). *JRM*, Vol. 23, No. 4, pp. 532–543, 2011.

- (4) T. Nakada, et al. A support system for finding lost objects using spotlight. In *Proc. of MobileHCI*, pp. 321–322, 2005.
- (5) G Borriello, et al. Reminding about tagged objects using passive RFIDs. In *Proc. of UbiComp*, pp. 36–53, 2004.
- (6) H. Ma and J. A. Paradiso. The FindIT flashlight: Responsive tagging based on optically triggered microprocessor wakeup. In *Proc. of UbiComp*, pp. 160–167, 2002.
- (7) Loc8tor. <http://www.loc8tor.com>.
- (8) K. Murakami, et al. Position tracking and recognition of everyday objects by using sensors embedded in an environment and mounted on mobile robots. In *Proc. of ICRA*, pp. 2210–2216, 2012.
- (9) A. Butz, et al. Searchlight - a lightweight search function for pervasive environments. In *Proc. of Pervasive*, pp. 351–356, 2004.
- (10) R. C. Nelson and I. A. Green. Tracking objects using recognition. In *Proc. of ICPR*, pp. 1025–1030, 2002.
- (11) D. Xie, et al. Design and implementation of a dual-camera wireless sensor network for object retrieval. In *Proc. of IPSN*, pp. 469–480, 2008.
- (12) S. Odashima, et al. Household object management via integration of object movement detection from multiple cameras. In *Proc. of IROS*, pp. 3187–3194, 2010.
- (13) T. Ueoka, et al. I’m Here! : A wearable object remembrance support system. In *Proc. of MobileHCI*, pp. 422–427, 2003.
- (14) H. Nakayama, et al. AI Goggles: Real-time description and retrieval in the real world with online learning. In *Proc. of CRV*, pp. 184–191, 2009.
- (15) X. Ren and C. Gu. Figure-ground segmentation improves handled object recognition in egocentric video. In *Proc. of CVPR*, pp. 3137–3144, 2010.
- (16) Y. J. Lee, et al. Discovering important people and objects for egocentric video summarization. In *Proc. of CVPR*, pp. 1346–1353, 2012.
- (17) M. Komatsuzaki, et al. BoxFinder: Finding items in boxes using images and visual markers. In *Adj. Proc. of Pervasive - Demos*, 2010.
- (18) M. Komatsuzaki, et al. DrawerFinder: Finding items in storage boxes using pictures and visual markers. In *Proc. of IUI*, pp. 363–366, 2011.
- (19) 日本国特許庁. 公開特許広報 特開 2001-294308, 2001.
- (20) 日本国特許庁. 公開特許広報 特開 2003-267525, 2003.
- (21) 福井類ほか. 開閉履歴および収容物画像の取得により物品探索を支援する知能化ストッカー物品探索支援機能の事前評価とプロトタイプの開発一. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 1A2-V10, 2012.
- (22) 日本機械学会. JSME 新版 機械工学便覧 C3-運搬機械. 丸善, 1980.