

仮想空間における片づけ行動の振り返りによる 認知トレーニングシステム

佐野睦夫^{†1} 辻村拓実^{†1} 大井翔^{†2} 田渕肇^{†3} 斎藤文恵^{†3} 梅田聡^{†4}

概要：認知症・軽度認知障害や高次脳機能障害者などの認知障害者が増加する中で、認知症予防やリハビリテーションにおいて、日常生活の質を向上させるため、調理や片づけなどの生活行動に基づく認知トレーニングの必要性が増してきている。ここで、認知トレーニングを円滑に進めていくためには、病識の改善が不可欠である。我々は、認知機能をリアルタイムで評価しながら、体験映像から気づきを発現させる振り返り支援による認知リハビリテーションの研究を推進している。しかしながら、認知トレーニング空間には制約があるため、空間を症状に応じて拡張できる機能が求められている。本論文では、生活行動として、片づけ行動を採り上げ、仮想空間における片づけ行動の振り返りによる認知トレーニングシステムを提案するとともに、既存の認知トレーニング手法と対比し、提案する認知トレーニングシステムの検証を行う。

A VR Cognitive Training System based on Behavior Reflection for Cleaning Task

MUTSUO SANO^{†1} TAKUMI TSUJIMURA^{†1} SHO OOI^{†2}
HAJIME TABUCHI^{†3} FUMIE SAITO^{†3} SATOSHI UMEDA^{†4}

Abstract: The number of cognitive disabled persons such as dementia / mild cognitive impairment patients and higher brain dysfunction people has increased gradually. Then, a cognitive training based on ADL such as cooking and cleaning has been navigated in order to improve a quality of life. It is necessary to improve an awareness of being ill to make a cognitive training smoothly. We have studied a cognitive rehabilitation based on reflection supporting which can make an awareness develop from experienced video through evaluating cognitive functions in real-time. However, its cognitive training space is restricted. So it is required to have its training space extend according to disease symptoms. This paper proposes a cognitive training system based on behavior reflection for cleaning task in a virtual space. In addition, the effectiveness of the proposed system is verified through comparing with conventional cognitive training approaches.

1. はじめに

認知症・軽度認知障害や高次脳機能障害などの認知障害者が増加する中で、認知症予防やリハビリテーションにおいて、日常生活の質を向上させるため、調理や片づけなどの生活行動に基づく認知トレーニングの必要性が増してきている[1][2]。我々は、注意障害・記憶障害・遂行機能障害などの障害に応じた調理ナビゲーション支援システムの研究を通して、生活行動に密着した認知リハビリテーションや認知トレーニングシステムの在り方を現場のリハビリ担当者とともに追求してきた[3][4]。

この中で、認知リハビリテーションや認知トレーニングを円滑に進めていくためには、病識（自己の障害へ意識）の改善が不可欠であることがわかってきた[5]。自己の障害

への気づきを定着させるためには、行動の振り返りの中で、障害行動に対する客観的なエビデンスとともに、体験映像を提示し、体験的気づきを発現させることが重要となる[5]。しかしながら、現状では、客観的認知指標としては、紙面や簡単な道具を用いた認知機能検査[6][7]を定期的に行っているだけで、障害が起因する行動をタイムリーに捉えることができていない。同時に、その場面を追体験し、改善を促すことも困難である。我々は、生活行動に対する認知機能をリアルタイムで評価しながら、体験映像から気づきを発現させる振り返り支援による認知リハビリテーションの研究を推進している[5][8]。

同時に、認知リハビリテーションや認知トレーニングを障害に応じて効率的に進めていくためには、障害に応じて段階的な課題設定を行える必要がある。しかしながら、日常生活に対して段階的に課題設定をすることは物理的に困難になることが多い。

本論文では、日常生活の中の片づけ行動に着目し、効果的に生活行動 VR 空間を設定し、リハビリテーションやトレーニングの難易度に応じ、適切なアイテムを設定・追加・削減することにより、認知機能に合わせた段階的な日常生活

^{†1} 大阪工業大学 情報科学部
Osaka Institute of Technology, Faculty of Information Science and Technology

^{†2} 大阪工業大学大学院 情報科学研究科
Osaka Institute of Technology, Graduate of Information Science and Technology

^{†3} 慶應義塾大学医学部精神・神経科学教室
Keio University School of Medicine Neuropsychiatry

^{†4} 慶應義塾大学文学部心理学教室
Keio University Faculty of Letters Psychology

活における振り返り認知リハビリテーション・認知トレーニング方式を提案する。同時に、認知能力向上の観点から、その有効性を検証する。

2. 片付け行動に対する認知機能と測定の課題

片づけ行動は、効率的な行動を発見し、動作の系列を組み立てる能力が要求される。これは認知機能の中で、遂行機能に該当する。遂行機能は、脳機能の中で、注意機能、記憶機能を統合した高次脳機能であり、幅広い認知機能が必要となる。知覚→同期→競合スケジューリング→スキーマ選択が大きな流れであり、スキーマ選択した結果は同期機構にフィードバックされ、再スケジューリングが行われる。競合スケジューリングは、注意制御システムと連動しており、時分割で動作がスイッチングされる。また、スケジューリングやスキーマ選択、注意制御システムなど至るところにおいて、作動記憶（ワーキングメモリ）が関与しており、ワーキングメモリが少ないと遂行機能は大きく低下する。

遂行機能を測定する検査バッテリーとして、Wilson らによる BADS (Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome) [6]が提案されており、鹿島らが日本語版を提案し[7]、国内のリハビリ施設で用いられている。BADS には、6 つの検査項目（規則変換カード検査、行為計画検査、鍵探し検査、時間判断検査、動物園地図検査、修正 6 要素検査）がある。藤田ら[9]は、片づけ行動を、7 種類の作業課題（掃除機で指定した枠に対して床を掃除／雑巾がけ 4 か所／本を本棚に種類に分けて入れる／服を畳み収納ケースにしまう。ジャケットとコートはハンガーにかける／写真立てを指定の場所に飾る／ゴミを分けてごみ箱に捨てる／テレビをつけて 10 分後に消す）として捉え、軽度アルツハイマー患者と健常者に対して、時間を制限し、7 種類の作業課題と BADS の比較を行い、遂行機能評価の一手段となり得ることを示した。同時に、BADS は、難易度が高く、検査時間も多く必要となることから、7 種類の作業課題の方が軽度アルツハイマー患者には難易度が適していることを示唆した。藤田らの作業課題においては、検査者が VTR から、遂行した動作や掃除機をかけた軌跡などを手でチェックしており、遂行機能の測定に大きな人的コストを必要とする。同時に、大きな実作業空間のリソースを必要とし、手軽に行えるものではない。さらに、症状に応じて、作業内容を変更するにも大きなコストを要する課題がある。我々は、簡単な片づけ課題を設定し、画像認識によるリアルタイムモニタリングにより認知機能評価[10]をしたり、実生活の認知機能評価を推進するために調理行動や掃除行動に対してリアルタイム行動モニタリングを行う研究[11]を並行で行っている。しかし、対象とする生活行動環境を柔軟に変更することは難しい。本研究では、このような課題に対して、片づけ行動に着目し、仮想空間において、片

づけ行動をリアルタイムでモニタリングし、難易度を容易に調整可能な認知リハビリテーション支援／認知トレーニング支援システムを提案する。本提案システムは、認知障害者に対する認知リハビリテーション支援システムとしても位置付けることは可能であるが、実験過程において健常者に対する認知機能のトレーニング向上の効果を検証することから、本論文では、以下、認知トレーニングシステムという用語で統一する。

3. 仮想空間 (VR) 片づけ行動振り返り認知トレーニングシステム

片づけ行動に対して、仮想空間の中で、リアルタイムに行動モニタリングを行い、振り返りインタラクションを通して、認知機能の向上を図るトレーニング方式を提案する (図 1)。

3.1 認知機能プロフィールに基づく片づけ仮想空間の生成

部屋の種類や片づけ対象数、片づけルールなど、認知機能プロフィールなどに従って、図 2 (3 人称視点)、図 3 (一人称視点) に示すような片づけ仮想空間を生成させる。片づけ対象の位置は、その都度ランダムに設定され、毎回、散らかった新しい状態を生成させる。図 4 に机の片づけシ

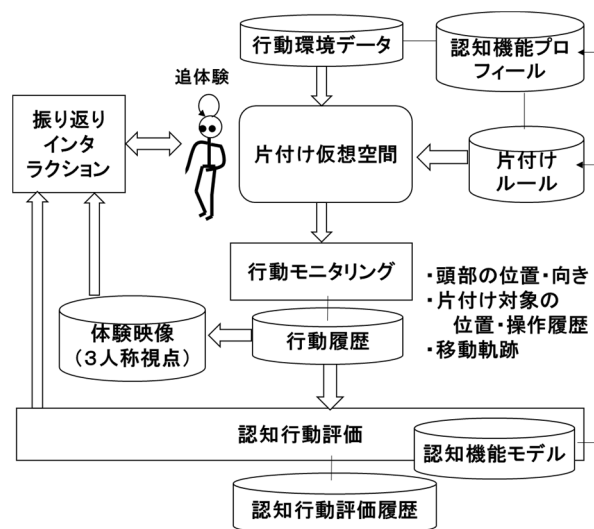


図 1 提案システム

Figure 1 The Proposed System

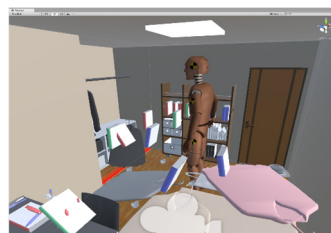


図 2 散らかった状態の発生シーン (空中散布中)

Figure 2 A Messy Daily Commodities



図3 一人称視点の初期画面
Figure 3 Initial Screen of 1st Vision

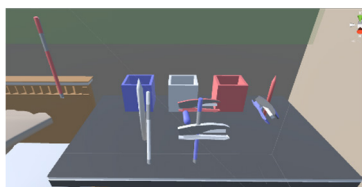


図4 机の片づけのシーン
Figure 4 A Scene of Cleaning up on the Desk

ーンの例を示す。

3.2 認知機能モデルと認知機能プロフィールに基づく片づけルール生成

遂行機能における再スケジューリング能力のチェックを行うために、片づけ途中でルールがランダムに追加・変更させる規則変換の考え方を導入する。

- ・筆記用具は入れ物に全て種類が違うように片づける
- ・筆記用具は入れ物に全て色が違うように片づける
- ・筆記用具は入れ物に色を揃えて片づける

また、指定されない片づけ対象は、片づけ空間の状態を維持するように片付ける。例えば、同じ色で整列されている場合はその状態を変更しないようにする必要がある。

例：

- ・図5に示すように、本は色別に番号順に並ぶように、適切に空いた箇所へ挿入する。（明示はしない）

3.3 行動モニタリング方式

行動環境に設置された複数の赤外線センサからHMD（ヘッドマウントディスプレイ）（頭部）やハンドデバイス（手）の3次元位置を同定可能で、HMDやハンドデバイスに搭載された加速度センサやジャイロセンサデータから顔の向き手の向きを推定できる典型的な仮想（VR）空間提示シス

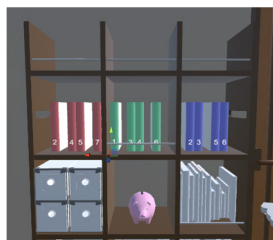


図5 本棚の片づけ先のシーン
Figure 5 A Scene of Book Shelf

テムに基づき、リアルタイムに行動モニタリングを行う。仮想空間での日常物品の操作履歴は、接触判定を介して、ハンドデバイスでのON/OFF検出により獲得する。これらの取得データにより、移動軌跡を求めることが可能となる。

3.4 認知行動評価方式

評価方式は、各片づけ場所への片づけ忘れや片づけ間違いが生じた場合は、その都度減点する（図6）。無駄な動きがしきい値以上超えた場合も減点対象とする。減点が全くない場合は100点満点とする。

3.5 振り返りインタラクション

図7に示すように、3人称視点体験映像を介して追体験を行い、認知機能評価結果や移動軌跡を提示することにより、振り返りインタラクションを行う。この振り返りにより、自らの動きの無駄や良かった所を体験映像から視覚的に認識することができる。同時に、スコア画面に表示された最終結果と項目ごとの減点数が提示され、その項目がなぜ減点されているか、気づきを誘発させる仕組みを実現している。このような振り返りインタラクションを通じて、気づきを次のトレーニングに活かすことにより、トレーニング効果を高めることが期待される。ここで、3人称体験映像のユーザの位置・姿勢は、頭部位置・傾きと手の位置・傾きの関係性から骨格位置を、逆動力学計算を介して推定することにより得ることができる。

4. 仮想空間（VR）片付け行動振り返り認知トレーニングシステム

4.1 実験条件

提案システムの有効性を検証するために、

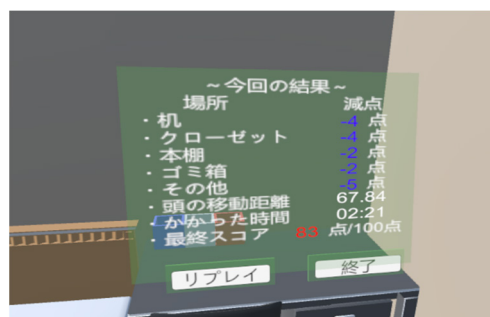


図6 認知行動評価結果の例

Figure 6 A Result of Cognitive Behavior Evaluation



図7 移動軌跡を重ねさせた体験映像（3人称視点）
Figure 7 An Experience Video overlaid by Movement Trajectory (3rd Vision)

A グループ：従来の定型的な Web 認知トレーニング

B グループ：振り返りなしの提案システム

C グループ：振り返りありの提案システム

の3群に分けて、トレーニング効果に関する評価実験を行った。後述するが、Web 認知トレーニングは、提案システムの効果を測定するテストとしても位置付けている。

<Web 認知トレーニング>

BADS などの遂行機能テストは拘束時間のコストが大きくなりユーザへの負荷が大きくなることから、遂行機能の各構成要素に大きな影響を与えるワーキングメモリ (WM) に関する認知トレーニングを行うこととした。本 WM トレーニングは、我々が独自に開発した4種類のテストであり、健常者の WM に強く働きかけ、レベルを簡単に上げることが難しいものも含まれている。

・Digit Span Training Test

図8に示すように、表示される数字を順番に覚える。テストは5回で1セットとし、覚える個数はレベルごとに変化する。正解率が80%以上でレベルが1段階上昇し、正解率が20%を下回るとレベルが1段階低下する。覚える個数は3個を基本としており、レベルが上昇するたびに4個、5個と増加する。

・N-Back Training Test

図9に示すように、N個前と同じ「図形・色・位置・音」であれば、同じ要素のボタンを選択するテストである。今回は、「位置」と「色」の2個の要素を記憶するように設定した。はじめは、1個前と比較し各要素が同じであればボタンを選択する。5回で1セットとし、正解率が80%以上

表示された順番に番号を押してください

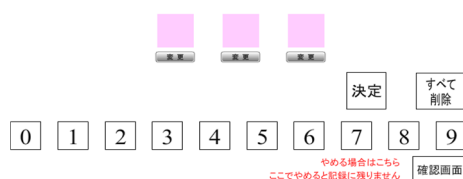


図8 Digit Span Training Test
Figure 8 Digit Span Training Test

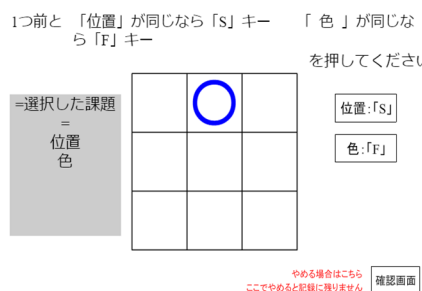


図9 N Back Training Test
Figure 9 N Back Training Test

でレベルが1つ上昇し、20%以下であればレベルが1つ低下する。レベルが上がるごとに、比較する図形は2個前、3個前と変化していく。

・Roulette Bingo Training Test

図10に示すように、星マークがある場所に円の赤い部分が揃った時に決定ボタンを選択するテストである。テストは、円の数2、分割数が4、回転速度が1秒間隔をレベル1とし、レベルが上昇するごとに円の数3、分割数が4といったように各要素が変化する。5回で1セットとし、正解率が80%以上でレベルが上昇し、20%以下でレベルが低下する。

・Goal Neglect Training Test

図11に示すように、指示された□の中の矢印と同じ方向のボタンを選択するテストで、「-」が出てきたら反対の□の中のボタンを選択するという変化がある。テストは、矢印の出現速度1.5秒、「-」の切り替わり頻度少をレベル1とし、レベルが上昇するごとに出現速度1秒や切り替わり頻度少といったように各要素が変化する。5回で1セットとし、正解率が80%以上でレベルが上昇し、20%以下でレベルが低下する。

<実験参加者>

20代前半の大学生14人(男性:10人,女性:4人)とした。

<実験期間・回数>

3週間とし、A~Cグループ共、最初に4種類のWMテストを行う。また、提案システムの実施前後でWMテストを行うことにより、WMテストを提案システムのトレーニング効果を測定する役割としても位置付ける。図12に、実験構成を示す。



図10 Roulette Bingo Training Test
Figure 10 Roulette Bingo Training Test

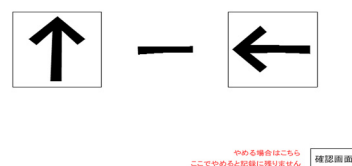


図11 Goal Neglect Training Test
Figure 11 Goal Neglect Training Test

A グループ：最初から続けて4回，WM トレーニングを実施

B グループ：1 日 1 回振り返りなしの片付けトレーニングを行い，3 回目に WM テストを 1 回行う．この流れを 3 回繰り返して，トレーニングを計 9 回，WM テストを計 3 回行う．

C グループ：1 日 1 回振り返りありの片付けトレーニングを行い，3 回目にテストを 1 回行う．この流れを 3 回繰り返して，トレーニングを計 9 回，テストを計 3 回行う．

＜実験用に構築した仮想生活空間と片づけ行動の例＞

部屋には，図 13 に示すように，ベッド，机，本棚，衣装棚，ゴミ箱といった基本的な家具等を 5 つ用意し配置した．この環境に対し，トレーニング開始時に，色の異なり番号が付与された本，色の異なる服，帽子，バッグ，色の異なる文房用具（ボールペン，鉛筆ペン，ホッチキス），ゴミなどの生活用品を図 14 に示すように毎回ランダムに散布させた．これらの生活用品を図 15 に示すようにハンドリングを行い，3.2 節で示したルールに従い，片づけを行った．

＜実験で用いたVRシステムの構成＞

今回，利用した仮想空間提示システムは，HTC-Vive (HTC 社) を活用し，システムは Unity で実装した．本VRシステムで利用する空間は，3.0m×2.3m であり，自由に動き回れるよう配慮した．

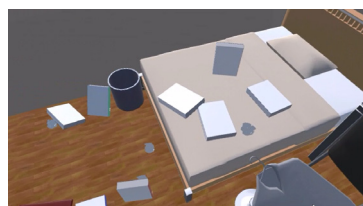


図 14 散らかっている部屋空間

Figure 14 Messy Room

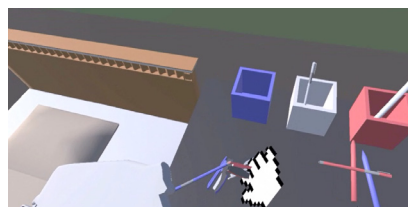


図 15 片づけ行動のシーン

Figure 15 A Scene of Cleaning Action

4.2 実験結果と考察

1 回目～2 回目，2 回目～3 回目，3 回目～4 回目の計 3 回の認知行動評価点数の上り幅の平均を各グループで算出した．図 16 に示すように，Digit Span Training テストの評価で，A<C (t 検定：有意差 5%) となり，振り返りありの提案システムが，WM トレーニングよりも認知機能向上に関して効果が確認された．また，C，B，A の順となり，VR 片づけ行動認知トレーニングの有効性を示すことができた．

N-Back Training, Roulette Bingo Training, Goal Neglect Training を含めて，WM テストの難易度が高く，本提案システムを評価するのに適していないと推測される．Digit Span Training テストは，難易度はそれほど高くなく，本提案システムを評価するのに適していると言える．ただし，個人差が大きく，実験サンプル数を増やして信頼性を高める必要がある．

表 1 に，各 WM トレーニングと振り返りありの提案システム (C) との相関係数を示す．

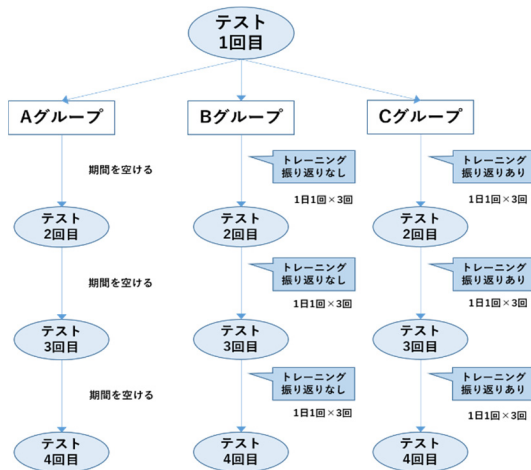


図 12 実験の構成

Figure 12 Experiments Construction



図 13 散らかっていない部屋空間

Figure 13 No Messy Room

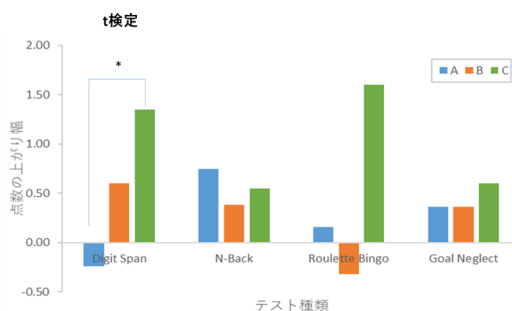


図 16 パターン A,B,C に対する認知行動評価点数の上り幅平均の比較

Figure 16 Improved Values for Pattern A, B, C

表 1 提案方式と各認知トレーニングとの相関係数

Table 1 Correlation Coefficient of the Proposed Method to Cognitive Training Test

	DigitSpan	N-Back	Roulette	GoalNeglect
相関係数	-0.24	0.53	0.36	-0.29

振り返りありの提案システムの得点と N-Back Training の結果には「比較的強い相関」が見られ、Roulette Bingo Training の結果には「弱い相関」が確認された。Roulette Bingo Training および N-Back Training は難易度が高く、WM の認知トレーニングとしても活用されている。本トレーニングシステムは、難易度の高い WM の認知トレーニングとして使える可能性がある。

5. まとめ

仮想空間における片づけ行動の振り返りによる認知トレーニングシステムを提案し、健常者に対する実験ではあるが、振り返りありの VR 片づけトレーニングシステムは、通常の認知トレーニングと較べて、認知機能を向上させることを確認した。

本提案システムは、トレーニングの難易度に応じ、適切なアイテムを設定・追加・削減することにより、認知機能に合わせた段階的な認知トレーニングが実現できる能力を有している。

今後、健常者の実験サンプル数を増やし、信頼性をさらに向上させるとともに、まず、認知障害者に対しては、まず、軽度認知障害や比較的軽度の高次脳機能障害者などの認知障害者に対して、VR 片づけ認知リハビリテーションの有効性を検証していく予定である。同時に、システムの難易度調整がコンポーネントの入れ替えのみでできるよう改良を行っていく計画である。さらに、片づけだけでなく掃除行動など、その他の生活行動に対しても本方式を適用し、生活全体の QOL を向上できるように研究を進めていきたい。

謝辞 本研究の一部は、JSPS KAKENHI Grant Number JP 15K00368 の支援を受けた。WM トレーニングシステム開発メンバーの慶應義塾大学医学部精神神経科・堀込俊郎医師に深謝します。

参考文献

- [1] 小倉郁子, 早川裕子, 三村将, 穴水幸子, 藤森秀子, 前野豊, “高次脳機能障害を持つ患者に対する調理訓練の経験” 認知リハビリテーション, Vol.2007, pp.40-45, (2007)
- [2] 山下満智子, 川島隆太, 岩田一樹, 保手浜勝, 太尾小千津, 高倉美香, “調理による脳の活性化(第一報)” 日本食生活学会誌, Vol.18, No.2, pp.134-139, (2006).

- [3] 宮脇健三郎, 佐野睦夫, 米村俊一, 大出道子, 松岡美保子, “高次脳機能障害者向け調理ナビゲーションのためのレシピおよび提示メディアの構造化,” 映像情報メディア学会論文誌 Vol.64, No.12, pp.1863-1872(2010)
- [4] 佐野睦夫, 宮脇健三郎, 米村俊一, 大出道子, “調理ナビゲーションシステムに基づく高次脳機能障害者の認知リハビリテーション,” 認知リハビリテーション Vol.18, No.1, pp.72-77 (2013)
- [5] 大井翔, 佐野睦夫, 渋谷咲月, 水野翔太, 大出道子, 中山佳代, “高次脳機能障害者の自立に向けた調理行動振り返り支援システムに基づく認知リハビリテーション,” 認知リハビリテーション Vol.20, No.1, pp.51-61 (2015)
- [6] Wilson, B.A., Alderman, N., Burgess, P.W., Emslie, H. & Evans, J.J. : Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome. Thames (1996).
- [7] 鹿島晴雄監訳, “BADS 遂行機能障害症候群の行動評価,” 日本版. 新興医学出版社, (2003).
- [8] 佐野睦夫, 中川葵, 小谷凌和, 大井翔, 小山智美, 西野朋子, “高次脳機能障害者に対する掃除行動振り返り支援システムに基づく認知リハビリテーション,” 認知リハビリテーション Vol.22, No.1, pp.31-40 (2017)
- [9] 藤田高史, 二木淑子, 高橋美幸, 杉本まみ, 能登谷晶子, “軽度アルツハイマー病者に対する遂行機能評価としての片付け検査の妥当性-BADS との比較から-.” 作業療法, 28(4), pp.396-409 (2009)
- [10] 大井翔, 池ヶ谷剛, 渋谷咲月, 水野翔太, 佐野睦夫, 田淵肇, 仲地良子, 斎藤文恵, 加藤元一郎, “生活密着型認知リハビリに向けた片づけタスクの注意機能評価,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会(2015)
- [11] Sho Ooi, Tsuyoshi Ikegaya, Mutsuo Sano, “Cooking Behavior Recognition using Egocentric Vision for Cooking Navigation,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.29, No.4, pp.728-736 (2017)