

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750230

研究課題名(和文) 仮想アバタとの協調認知的コミュニケーションを介したエラーレスラーニングシステム

研究課題名(英文) VR based Collaborative Errorless Learning System Using Virtual Humanoid Agent

## 研究代表者

山口 武彦 (Yamaguchi, Takehiko)

東京理科大学・基礎工学部・助教

研究者番号：50713442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：VR技術を用いて構築されたIADL環境において、ヒト型の仮想アバタ(HA)を介したエラーレスラーニング(EL)を可能とするシステムを開発し、その有効性を評価した。提案システムは、HAとの協調認知的コミュニケーションをプロンプトとして与える事が出来る。また、HAの振舞いを患者の状況に合わせて適応的に変化させる事で、患者の感情特性を考慮したプロンプト設計を可能とした。タスク中の被験者の注視行動を計測した結果、HAによる注意の誘導が効果的に行われている事が確認できた。さらに、開発したHAの挙動は、被験者の知覚的要求の負荷を低減し、タスク遂行の記憶をポジティブに印象付ける効果がある事が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We proposed a Virtual reality based errorless learning system using humanoid agent interaction for people with Alzheimer's disease. The proposed humanoid agent enables to provide an errorless learning through natural collaborative learning as a novel prompt, as well as to design an adaptive prompt based on emotional state of the patient. As a result of the pilot study, we found that 1) the humanoid agent enables to effectively induce visual attention to a target task, 2) the humanoid agent's behavior enables to reduce mental workload of the subject, and 3) the subject's experience of some task was corresponded to the positive impression of the agent's behavior.

研究分野：情報工学

キーワード：VRリハビリテーション 認知症 エージェントシステム エラーレスラーニング

## 1. 研究開始当初の背景

国立社会保障・人口問題研究所の推計によれば、我が国の総人口は減少傾向にある一方、高齢者人口は今後も 2020 年まで急速に増え続ける傾向にある。そのため高齢化率は上昇し続け、2015 年には 26.0%、2050 年には 35.7%に達すると見込まれている。国際的に高齢化率が 14-21%である場合、高齢化社会と定義されるが、我が国の場合、その定義を大幅に超える超高齢化社会の到来が推測されている。そのため、それに伴う社会福祉の充実化や、医療分野のさらなる発展が急務とされる。

高齢者は年齢と共に身体的・認知的能力が低下し、自己管理能力が低下していく。中でも中枢神経系の病気は高齢者の生活の質、社会福祉に重大な影響を与え、その中でも、深刻な病気の一つはアルツハイマー病 (AD) である。AD は現在の医学でも根本的治療が困難であるため、薬物治療法により、症状・脳機能の低下の抑制や、リハビリテーションによって、精神活動や運動機能の維持を図るなど、症状を遅らせるための処置や、アルツハイマー病の前駆症状である軽度認知障害 (MCI)を早期に発見し、AD に転移する前に未然に防ぐ対処法が取られている。

近年の技術革新により計算機の軽量化、性能向上、およびコストダウンが実現し、リハビリの分野でもコンピュータを用いたシステムを構築する例が増えてきている。コンピュータを利用したリハビリは、仮想的にリハビリタスクを設計できることから反復性の高い環境を構築でき、また、没入感やエンターテインメント性の高い環境が構築可能である。それらの要素は患者のリハビリへの動機づけを高めるなどして、その効果は AD の発症のリスクを下げるだけでなく、AD 発症後であっても、症状の進行を遅らせ患者の QOL を向上するのに一定の効果を持っている。

申請者はこれまで、Virtual Reality (VR) 技術を用いて日常の料理活動の再学習を目的とした AD 患者のためのリハビリシステムの開発を行ってきた。具体的には、仮想空間上に料理の作成順再学習が可能であるプラットフォームを実装し、タスク中に患者の脳内の作動記憶の機能の一つである音韻ループを外部から刺激し活性化させ、再学習率の向上を促進するシステムを開発してきた。ここで音韻ループとは、我々が何か聞いた事柄を記憶する際、脳内で自分自身の声を何度も追唱して記憶を促進することがあると思うが、その反復するプロセスを指す。提案システムでは、患者自身の声を用いてそれをタスクの流れに合わせて効果的に再生することにより、音韻ループを外部から活性化するシステムを実現し、申請者はその効果を検証してきた。

しかし、これまでのシステムは、外部から患者の脳内の内的学習プロセスを刺激し、タ

スクの再学習率を高めることに一定の効果を上げてきたが、患者がタスク中に間違いを起こす事態は回避できず、患者のエピソード記憶に間違いを起こした (タスクに失敗した) という記憶が残ってしまうというリスクが問題点としてあった。つまり、AD 患者は、認知機能の低下により脳内のエピソード記憶の機能が低下しているため、リハビリ中に課せられるタスクの正誤判断が困難であるとされる。そのため、健常者であれば間違いを繰り返しながら正しい状態を学習しリハビリを克服できるが、AD 患者の場合、間違いを起こさせない学習 (エラーレスラーニング:EL) が有効であることが言われている。そこで申請者は、EL を用いてこれまでのシステムを発展させることを考えた。しかし、EL をシステムティックに実現するための技術的な課題として、a) AD 患者が起こそうとしているエラーを予測検出できる機能、そして、b) 予測されたエラーから AD 患者の注意をそらし、間違いを起こそうとしていることに気が付かせないように学習目標のタスクへと注意を促す機能、の検討が必要となると考える。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、手段的日常活動 (IADL) のリハビリタスク中に起こる間違いの経験が AD 患者のエピソード記憶に格納されることを効果的に回避し、効率的に再学習率の向上を実現できる新しい EL のフレームワークを開発することである。

### (1) タスク中に患者が起こすエラーを検出する機能の実現

IADL タスク中に患者が起こすエラーの種類については、すでに研究がなされており、必要なことを省くオMISSIONエラー、するべきことと異なることを行うCOMMISSIONエラー、無関係な行為、順序の誤りなど様々定義されている。本研究ではまずこれらの知見を基にし、タスク特有のエラーを含めタスク中に起こりうるエラーを包括的に理解し、ガイドラインにまとめる。その後、ガイドラインに照らし合わせる形で、実際のタスクから取得した患者の振る舞いデータを解析し、エラーパターンを自動的に予測可能なアルゴリズムをモデル化し開発する。

### (2) エラーから患者の注意をそらし正解のタスクへと注意を促す機能の実現

EL の本質は、患者に間違いを起こさせないように正解を与え続けることで学習を進める学習方略にある。そのためには、患者が間違いを起こしたということを知覚する前に適切に正解を示し、的確に正解となる行動へと導くことが求められる。本研究では、タ

スク中に散漫になりがちな患者の注意を適切に誘導し、正解のタスクに効果的に集中させるフレームワークの実現を目指す。そのアプローチとして、**Humanoid** 型の小人アバタを仮想空間上に配置し、患者とアバタ間に自然な協調認知的コミュニケーションが生まれる状況を設計し、その状況を通して患者の注意を誘導する仕組みを開発する。

### 3. 研究の方法

本研究では、**Virtual Reality(VR)**技術を用いて、仮想空間内に **IADL** 空間を設計し、全ての **IADL** タスクを仮想空間内で完結できるシステムを実装する。対象とする **IADL** タスクは、コーヒーの準備を行うタスクとする。以下、実装したシステムを **Virtual Kitchen (VK)** システムと呼ぶ。

#### (1) エラーパターン予測アルゴリズムの開発と評価

**VK** システムで提供される **IADL** タスクは、患者に対して指定されたコーヒーの作成順序を問うタスクである。先行研究のプラットフォームでは、**VR** 環境に設置された仮想のキッチンテーブル、調理器具をマウスインタラクション、もしくはそれに変わるインタラクションを用いて操作し、指定されたタスクを行うことが要求される。エラーパターンの予測アルゴリズムは、タスク中の患者の腕の振る舞いの情報を基に計算する。

エラーの予測アルゴリズムが達成すべき目標は、患者がタスク中に起こす誤った行動を患者自身が認知するタイミングよりも時間的に十分に早く検出することにある。また、特定されたエラーの種類が適切かどうかの点からアルゴリズムの妥当性を評価する。

#### (2) **Humanoid** 型の小人アバタの開発と評価

エラーの予測アルゴリズムが患者のエラーを適切に予測するタイミングで、システムは、患者の注意を正解のタスクへと促す必要がある。**Humanoid** アバタ (**HA**) は、患者との間に自然な協調認知的コミュニケーションが発生するように **AI** を用いて制御される。**AI** の行動パターンは、患者の情動反応を考慮した動きを定義し、かつ、患者の注意を適切に促すように設計される。

#### (3) アセスメントテストによるシステムのユーザビリティ・臨床評価

健常者を用いたユーザビリティ評価を行う。この時得られた問題点を基にシステムの改善点について分析し、それを基にシステムを修正・改善する。また、患者を用いてシステムの有効性の評価を行う。被検者は共同研究先の研究機関 (アンジェ大学, フランス)

にて行う。評価はコントロールタスクを準備し、提案システムとコントロールタスクに対してトレーニングタスク、ベースライン、学習タスク、ポストトライアルを実行し、ベースラインとポストトライアルの学習効果を統計手法により比較し、提案するシステムの有効性を評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) **Virtual Reality** ベースのアセスメントツールの有効性の評価

**VR** 技術を用いた手段的日常生活活動 (**IADL**) のアセスメントツール (**VR-IADL**) を開発し、その臨床の有効性を評価した。24 人のアルツハイマー (**AD**) 患者を用いて、**VR-IADL** タスクと、**VR** タスクに対応した現実世界の **IADL** タスク (**RL-IADL**) におけるパフォーマンス、全般的な認知機能、実行機能、介護者による **IADL** 機能の比較を行った。32 人の健常な高齢者をコントロールの結果を **AD** 患者の結果と比較した所、**VR-IADL**, **RL-IADL** 全てのタスクにおいて、**AD** 患者の結果が低いことが示された。そして相関分析の結果、**VR-IADL** タスクの結果は、その他の神経心理学的な測定結果との相関が示された。さらに、回帰分析の結果、**VR-IADL** タスクの結果から **RL-IADL** のパフォーマンスや介護者による **IADL** 機能評価の結果を予測可能であることが分かった。この結果から、**VR** ベースの環境が物理世界でのタスクの結果と比較し同等に有効な評価指標となりうることを示唆された。

#### (2) **Humanoid** 型エージェントを用いた **Errorless learning** システムの開発

提案システムは **PC**, モニタ, **Leap Motion** (**LM**) で構成される。**LM** は患者の手の 3 次元位置・姿勢を **VR** 空間に投影・制御するために用いられる (図 1)。



図 1. **VK** システムのシステム構成

提案システムでは、**Humanoid** 型エージェント (**HA**) を用いることで、動作や言葉による患者との疑似的コミュニケーションを図ることができる。それにより、患者の注意をターゲットタスクに引き付けるだけでなく、

協調的に患者を導くことができる。加えて、患者が自然に求められている動作を選択させることができる。また、一般的に高齢者は若年時に比べ感情優位に判断を行うようになると言われていた。そのため、HAが患者に助けを求めるような視覚的効果を提示することで、患者の感情特性を考慮した協調動作を実現した。

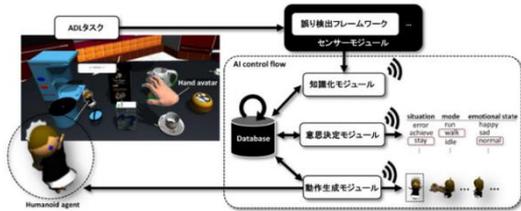


図 2. AI 制御部のインフォメーションフロー

実装された HA の振る舞いの一例を図 3 に示す。HA はタスク開始後、自律的に行動し、自らタスクを遂行しようとする。しかし、自分の力だけでは達成できないので、患者に助けを求める行動を見せる (図 3 d) では、コーヒーフィルタをコーヒーメーカーにセットすることを手伝ってほしいというサインを送っている)

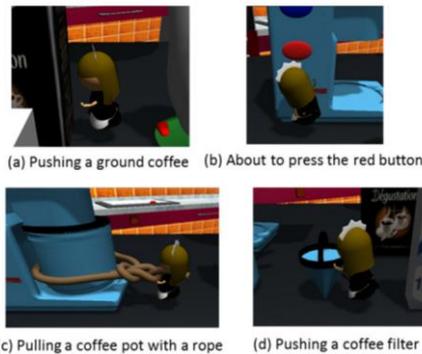


図 3. HA の振る舞いの一例

### (3) VR-IADL タスクにおけるエラー検出システムの開発

VK システムが提供する IADL タスクにおいて検出すべきエラー行動の対象を以下の 3 つに絞った。1) 現在のタスクと関係のないオブジェクトを掴もうとする行動、2) 手を静止させたまま動かなくなる行動、3) 同じ動作を何度も繰り返そうとしてしまう行動。これらのエラー行動のうち、2) については手が一定時間以上動かなかった場合に検出するようにした。1), 3) については、手の動作からこれから掴もうとしているオブジェクトを予測することで検出できると考えた。そこで掴むオブジェクトの予測手法として、Jerk 最小モデルを用いた到達点予測モデルの構築を行った。

Jerk 最小モデルは、腕の運動速度の変位を

見るだけで最終点を予測することが出来る簡易的なモデルである。Jerk 最小モデルにおいて、動作中の手の加速度の概形は、図 4 のようになる。

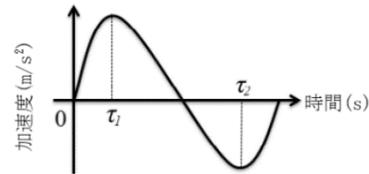


図 4. 手の動作中の加速度の概形

$\tau_1, \tau_2$  は加速度の変曲点である。加速度がこのような概形するとき、動作終了時の終点  $x_f$  は加速度が極大値を取った点  $\tau_1$  での座標  $x(\tau_1)$ 、動作開始時の座標  $x_0$  を代入し、

$$x_f = \frac{4x(\tau_1) - (2 + \sqrt{3})x_0}{2 - \sqrt{3}} \quad (1)$$

を求めることで計算できる。VK システムにおいては、手の動作中に加速度が極大をとった時点で各値を (1) 式に代入し、動作の終点を計算する。その終点座標から予測できる到達オブジェクトが現在の目標オブジェクトであるかどうかを判定し、エラー行動の検出を試みた。

被験者に実際に VK システム上でコーヒー作成のタスクを行ってもらい、上記の手法で検出したエラー行動と実際に起こったエラー行動の一致具合を検討し、開発したエラー行動検出システムの妥当性を評価した。手の速度が小さい場合、Jerk 最小モデルの加速度の概形と一致しなくなるためことによる判定ミスはあったものの、おおむね高い精度でエラーを検出できることが分かった。

### (4) VR-IADL タスク中の注視行動の解析

HA との協調作業を介した Errorless learning において、HA の行動が患者の注視行動にどのように影響を与えているかを検証した。15 人の大学生を被験者とし、HA を提示する条件とそうでない条件で IADL タスクを行った (図 5)。



図 5. 被験者の注視行動の一例

実験の結果、HA が提示されない環境では、被験者からタスク中に別の出来事について意識が向いてしまうマインドワンダリングが起きていたことが分かった。一方で、HA

が提示されている条件では、被験者にマイ  
ンドワンダリングは観測されなかった。さ  
らに HA に対してポジティブな感情を抱  
いたとの報告がなされ、提案システムが被  
験者の感情特性を配慮した行動が取れてい  
たことが示唆された。

#### (5) VR-IADL タスクにおける HA の振る舞い が与える効果の評価

HA の行動パターンが被験者の作業負荷や  
システムユーザビリティ、そして VR 空間で  
の没入感に対してどのような影響を与える  
かを検証した。被験者には、大学生 15 人  
を用いた。実験は、独立変数として、HA 表  
示の効果 (HA 表示有/無の 2 水準)、そして被  
験者の頭部の位置・姿勢変化に追従して仮想  
世界が更新される情報提示の効果 (ヘッドト  
ラッキング (HT) 有/無の 2 水準) の 2 変数  
を用いた。従属変数は、主観的データのみと  
し、ユーザビリティ (System Usability Scale  
[1])、作業負荷 (Nasa-TLX [2])、そして没  
入感 (Presence questionnaire [3]) の 3 つの観  
点から分析を行った。実験の結果、HA の協  
調的動作を誘導する振る舞いが、被験者の知  
覚的要求の負荷を低減し、患者にポジティブ  
な印象を与えることが分かった。

#### (6) Humanoid エージェントを介した Errorless learning システムの臨床評価

開発した HA との協調認知的学習を介し  
た EL を用いて、臨床評価を行った。具体的  
には、被験者に初期のアルツハイマー患者 1  
名を用いて、ケーススタディを行った。実験  
では、HA 表示の効果 (HA 表示有/無の 2 水  
準) を検証した。ベースラインテストの後、  
HA の有/無の条件で学習を行い、ポストトラ  
イアルを行った。従属変数としてオミッシ  
ョンエラーの頻度を計測した所、HA 表示の有  
の条件において、ベースラインとポストトラ  
イアル間に有意な差が見られた。

#### <引用文献>

- ① Brooke, J.: SUS: A Quick and Dirty Usability Scale, In Usability Evaluation in Industry (PW Jordan, B Thomas, BA Weerdmeester & IL McClelland, Eds), Taylor & Francis, London, pp.189-194 (1996).
- ② Hart, SG, Staveland, LE.: Development of NASA-TLX: results of empirical and theoretical research. In Human Mental Workload (PA, Hancock, & P Meshkati, Eds), Elsevier, Amsterdam, pp.139-183(1988).
- ③ Witmer, B.J., Jerome, C.J., & Singer, M.J. :The factor structure of the Presence Questionnaire. Presence, Vol.14, No.3, pp.298-312 (2005).

#### 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 1 件)

- ① P. Allain, D. Foloppe, J. Besnard, T. Yamaguchi, F. Etcharry-Bouyx, D. Gall, P. Nolin, and P. Richard, 2014, Detecting everyday action deficits in Alzheimer's disease using a non-immersive virtual reality kitchen, Journal of the International Neuropsychological Society, 20:468-477, DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S1355617714000344>

[学会発表] (計 4 件)

- ① 山上裕大・山口武彦・佐藤俊彦・藤野響・原田哲也・Deborah Alexandra Foloppe・Philippe Allain, 2014, 仮想アバタとの協調認知的コミュニケーションを介した Errorless Learning システムの提案, 第 14 回 日本 VR 医学会学術大会 (2014 年 9 月), 東京大学, 16-16,
- ② 藤野響・山口武彦・山上裕大・佐藤俊彦・原田哲也・Deborah Alexandra Foloppe・Paul Richard・Philippe Allain, 2015, Virtual Kitchen システムにおける仮想手を用いた物体把持操作モデルの提案および実装, ライフサポート学会第 24 回フロンティア講演会 (2015 年 2 月), 東京電気大学, 81-81
- ③ T. Yamaguchi, Y. Yamagami, T. Sato, H. Fujino, T. Harada, D. A. Foloppe, P. Richard, and P. Allain, 2015, VR based Collaborative Errorless Learning System using Humanoid Avatar for People with Alzheimer's Disease, The 10th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, March 11-14, Berlin, Germany, 462-469
- ④ 山口武彦・藤野響・ポラステファ・ギルバートエトゥアン・富山眞之介・原田哲也・アレクサンドラ フォロップデボラ・リチャードポール・アラン フィリップ, 2015, 人型エージェントとの協調認知的コミュニケーションを介した Errorless Learning システムの提案: 予備的実験と考察, 第 2 回高齢社会デザイン (ASD) 研究会 (2015 年 7 月), 立命館大学, 1-7

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山口 武彦 (YAMAGUCHI, Takehiko)  
東京理科大学・基礎工学部・電子応用工学  
科・助教 研究者番号: 50713442