

仮想空間内の掃除行動における リアルタイム遂行機能評価方式の提案

三原 顕仁^{†1} 大井 翔^{†1} 佐野 睦夫^{†2} 田 淵 肇^{†3}
斎藤 文恵^{†3} 梅田 聡^{†4} 堀込 俊郎^{†3}

概要：近年、高次脳機能障害者は全国で 50 万人を超えると推察されているが、リハビリテーションを行う医師や専門施設は不足している。我々は、日常生活を認知リハビリテーション対象として、在宅で高次脳機能障害者の自立を促進するためのリハビリテーション方式に取り組んでいる。本研究では、日常生活における遂行機能に着目する。従来、遂行機能評価手法としては BADS テストなどが代表的であるが、リアルタイムに評価することはできていない。そこで、仮想空間で掃除行動を行うことによって、リアルタイムで遂行機能を評価する方式を提案し、有効性の検証を行う。

A Real Time Executive Function Evaluation Method for Cleaning Action in Virtual Space

AKIHITO MIHARA^{†1} SHO OOI^{†1} MUTSUO SANO^{†2} HAJIME TABUCHI^{†3}
FUMIE SAITO^{†3} SATOSHI UMEDA^{†4} TOSHIRO HORIGOME^{†3}

Abstract: In recent years, the patients with acquired brain injury are more than 500 thousand. However, doctors and specialized facilities for rehabilitation are missing. We study an ADL cognitive rehabilitation method at home for promoting self-reliance of the patients with acquired brain injury. This paper focus on executive function in their ADLs. The BADS (Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome) test can assess the skills and the demands involved in daily living. However, it can't evaluate their activities of daily living in real-time. We propose an evaluation method for executive function of ADL in virtual space based on cleaning task. In addition, the effectiveness of the proposed method is verified through cognitive experiments.

1. はじめに

近年、高次脳機能障害者数は、全国で 50 万人を超えると推察されている[1]。高次脳機能障害とは、病気や交通事故など様々な原因で、脳が部分的に損傷を受けたために生ずる、言語や記憶などの知的機能の障害のことである。この障害を呈する疾患の 60-70%を脳卒中（脳梗塞、脳出血、くも膜下出血）が占め、次いで脳外傷、低酸素脳症、脳腫瘍、脳炎などの感染症がある[2]。主な症状は、①記憶障害、②注意障害、③遂行機能障害、④社会的行動障害、⑤失語症、⑥失認症、⑦失行症、⑧地誌的障害、⑨半側空間無視、⑩半側身体失認である。

通常、高次脳機能障害に対する訓練は、医療機関やリハビリテーション施設において、医師の指示および十分な指導・監督のもとで、作業療法士・看護師・臨床心理士・精神保健福祉士で構成させる医療チームによって実施されている[3]。しかし、現状では医師をはじめとした複数の専門医および専門施設は不足している。そこで、我々は高次脳機能障害者の自立を促進するため、掃除や料理をはじめとした日常行動全体を認知リハビリテーション対象とし、在宅で認知リハビリテーションを行うことのできる方式の確立に取り組んでいる[4]。

本研究では遂行機能に着目し、仮想空間で掃除行動を行

うことで、リアルタイムに遂行機能を評価する方式の提案を行う。また、本方式で使用するパターン認識技術の認識率と評価結果の妥当性について検証を行う。

2. 従来の遂行機能評価手法

従来、遂行機能を評価するために、テスト形式である BADS(Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome) テストを行う[5]。BADS テストは、Wilson ら (1996) によって提案され、鹿島ら (2003) によって日本語版 BADS テストが提案された[6]。このテストは、以下に示す 6 つの検査により遂行機能を評価する。

- (1) 規則変換カード検査
- (2) 行為計画検査
- (3) 鍵探し検査
- (4) 時間判断検査
- (5) 動物園地図検査
- (6) 修正 6 要素検査

(3)の鍵探し検査について説明する。この検査項目では、真ん中の 100mm 四方の正方形とその下 50mm のところに黒い小さな点を描いた A4 版の紙を提示する。実験参加者にはこの正方形が大きな野原であると考えてもらい、その中で鍵をなくしたと仮定してもらい、この鍵を確実に見つけ出すためには正方形内をどのように歩いて探すかを、黒点からスタートして線で書き込んでもらう。評価は、i) 野原の入り路、ii) 鍵探しの終点、iii) 線の連続性、iv) 平

^{†1} 大阪工業大学大学院 情報科学研究科

Major in Information Science and Technology, Graduate School of Osaka Institute of Technology

^{†2} 大阪工業大学 情報科学部

Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

^{†3} 慶應義塾大学 医学部 精神・神経科

Department of Neuropsychiatry, School of Medicine, Keio University

^{†4} 慶應義塾大学 文学部

Department of Psychology, School of Medicine, Keio University

行性, v) 水平性か垂直性, vi) 既定のパターン, vii) すべての場所を網羅しようとする試み, viii) 鍵の発見, の8つに項目を基に行う。

日本語版BADSテストはペーパーテスト形式であるため、リアルタイムな評価をすることができない。また、遂行機能は日常生活上での問題を解決する際に発揮されるものだが、BADSテストの検査項目は日常行動からずれている。そこで、日常生活に密着したリアルタイムな遂行機能評価方式を提案する。

3. 提案システム

本研究で提案するシステムでは、2章で述べた鍵探し検査を日常生活における机拭き置き換え、仮想空間上でリアルタイムな遂行機能評価を行う。使用するハードウェアとして、GPUを内蔵したPC、仮想空間に没入するためのヘッドマウントディスプレイとしてOculus Rift DK2、手の認識を行うためのLeap Motionを使用する。また、開発環境としてUnity5.3.1を用いる。図1にシステムの構成を示す。また、システムのフローチャートを図2に示す。以下より、フローチャートの「検査場面」と「振り返り場面」を節で分け、説明を行う。

3.1 検査場面

3.1.1 生活用品の配置

本システムでは、最初に生活用品をユーザ自身が机に配置する。生活用品の配置例を図3に示す。配置できる生活用品としては本とペン、リモコン、ペットボトルの4種類とする。また、配置できる生活用品の数には上限と下限を設定しておき、配置する物体数を制限する。これは物体数が少なすぎるまたは多すぎることによって、検査が簡単すぎるまたは難しすぎるようになることを防ぎ、正当に遂行機能の評価結果が得られるようにするためである。

3.1.2 基本となる評価項目

机拭きの評価項目として、2章で述べた鍵探し検査の「鍵の発見」を除く7つの評価項目を採用し、それぞれ机拭き

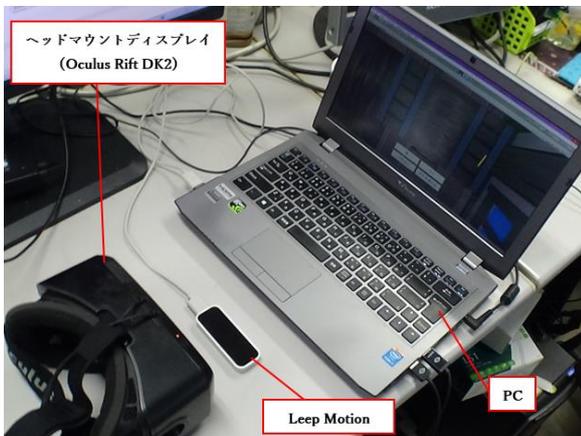


図1 システムの構成
Figure1 System configuration

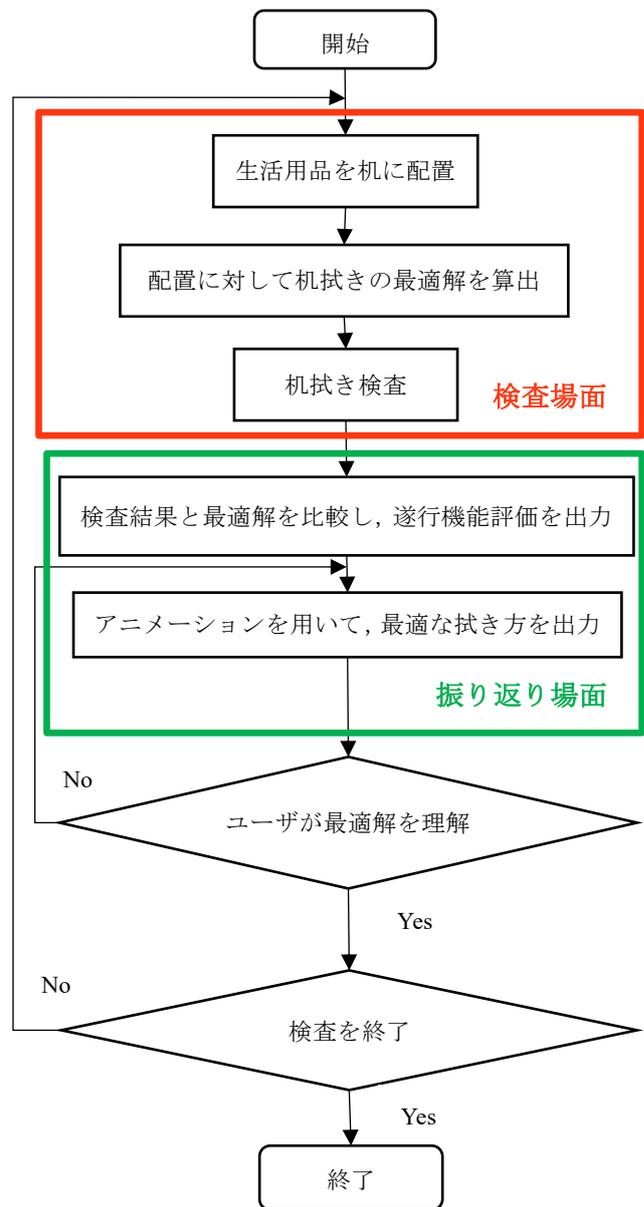


図2 システムのフローチャート
Figure2 System flow



図3 生活用品の配置例(上面図)
Figure3 Example of daily living tool position(top view)

に合わせ変更した。その項目は、机拭きにおける i) 入路、ii) 終点、iii) 連続性、iv) 平行性、v) 水平性・垂直性、vi) 規定のパターン、vii) 網羅率である。そして、この 7 つの評価項目に viii) 生活用品を移動させた移動量、ix) 生活用品を移動させた回数、x) 布巾で拭いた距離、xi) 布巾を持った回数を加えた計 11 個の項目から机拭きの評価を行う。

表 1 に BADS テストの鍵探し検査から採用した評価項目の得点範囲を示す。この点数は鍵探し検査の評価手法に基づいている。机拭き検査における評価項目の詳細について以下に述べる。

表 1 評価項目と得点範囲

評価項目	得点範囲
i) 入路	1~3 点
ii) 終点	1~3 点
iii) 連続性	0・1 点
iv) 平行性	0・1 点
v) 垂直性・水平性	0・1 点
vi) 既定のパターン	3・5 点
vii) 網羅率	0・1 点

i) 入路

机拭きでは、どこから拭き始めたかは重要なポイントである。本システムではどこから拭き始めたかを判定し、評価を行う。4 か所のいずれかの角から拭き始めた場合 3 点、それ以外の端の部分から拭き始めた場合 2 点、これら以外の場所なら 1 点とする。評価範囲の分類を図 4 に示す。図の上に明記された点数は、色で塗られた範囲内から拭き始めたときの点数を表している。

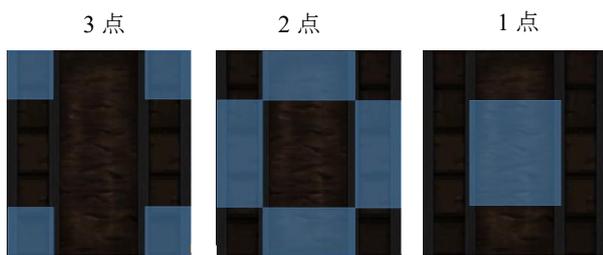


図 4 入路における評価範囲の分類

Figure4 Classification for entry path execution

ii) 終点

どこで拭き終わったかも同様に重要なポイントである。本システムでは机拭きをどこで終わったかを判定し、評価を行う。机の入路と同じく、4 か所のいずれかの角で拭き終わった場合 3 点、それ以外の端の部分なら 2 点、これら以外の場所なら 1 点とする。

iii) 連続性

机拭きでは何回も分けて拭くことは効率的ではない。こ

の連続性は、拭き始めから拭き終わりまで一筆書きのように拭くことができているかを判定し、評価を行う。図 5 のように、机拭きの軌跡が途切れていない場合は 1 点、途切れている場合は 0 点とする。本システムでは手の誤認識が起きる可能性を考慮し、机から布巾が 2 秒以上離れた、もしくは布巾が 2 秒以上手から離れた回数をカウントし、このカウントが一定回以上になれば軌跡が途切れているとする、それ以外の場合は途切れていないとみなす。この一定回の基準は配置した生活用品の数によって変化する。

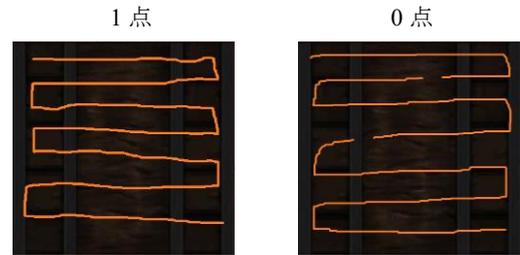


図 5 連続性の評価分類

Figure5 Execution classification of continuity

iv) 平行性

机拭きでは、同じ拭き方を繰り返すことは効率的である。この平行性は、拭いた軌跡の傾きがすべて同じかどうかを判定し、評価を行う。線の傾きを測るため、布巾が机に触れている時に随時その座標を取得する。取得した座標から連続する 2 点間の角度を全て算出し、それを 8 方向と 16 方向に分類しそれぞれを足し合わせることで、どの方向にどれだけ移動したかを算出する。そこから、最も移動距離の大きい方向とその逆方向を見つけ、お互いの移動距離を比較し差を算出する。その差が小さければ、平行性があると判定し、1 点を与える。平行性がない場合は 0 点である。8 方向と 16 方向に分類し足し合わせた例を図 6 に示す。

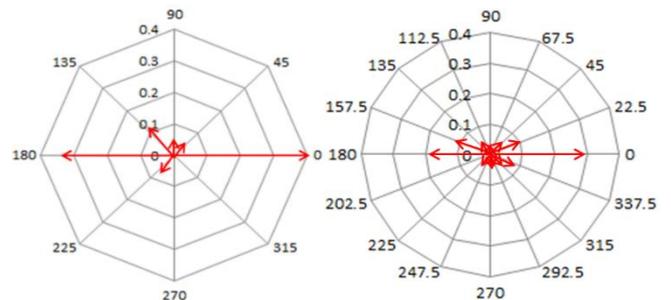


図 6 8 方向と 16 方向の分類と足し合わせ

Figure6 Classification and foot calculation of 8 direction and 16 direction

v) 垂直性・水平性

机拭きは、斜めに拭くことは効率的ではない。垂直性または水平性は、拭いた軌跡が水平または垂直の線のみで構成されているかどうかを判定し、評価を行う。水平性と垂直性を判定するために、上記で述べた机拭きで取得した座標を用いる。連続する 2 点の (X_1, Y_1) と (X_2, Y_2) が、式(1)を満たすときは水平、式(2)を満たすときは垂直とする。これ

を拭き始めから拭き終わりまでの全ての座標データで行い、全ての連続する2点間で水平または垂直性を満たしている場合は1点、満たしていない場合は0点とする。

$$X_1 \cong X_2 \quad (1)$$

$$Y_1 \cong Y_2 \quad (2)$$

vi) 既定のパターン

机拭きでは、vi) で述べたように同じ拭き方を繰り返すことは効率的であるため、効率的な拭き方はある程度絞ることができる。そこで、本システムでは既定のパターンとして4つパターンを用意し、机拭きの軌跡がその4つのパターンのどれに当てはまるかを判定し、評価を行う。どのパターンであるかは、上記で述べた8方向と16方向のベクトルを特徴量とし、k-NN法を用いることで認識する。既定のパターンとして用意した4種類のパターンとそのパターンの点数を図7に示す。

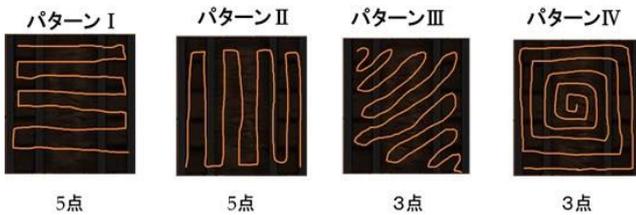


図7 既定のパターンとそれぞれの点数

Figure7 Default patterns and scores

vii) 網羅率

机がどれだけ拭けているかは当然重要なポイントである。これを机拭きの網羅率とし、机上をどれだけ網羅できたかを判定し、評価を行う。本システムでは、机上の80%以上を網羅していた場合1点、それより下回っている場合0点とする。網羅率を算出するにあたり、小さな立方体のオブジェクトを多数用意し、机と同じサイズになるように配置している。それぞれのオブジェクトに対して当たり判定をつけておき、布巾が接触した個数を基に網羅率を算出する。

3.1.3 追加する評価項目

3.1.2項でも述べたように、本システムではBADSテストの鍵探し検査から採用した評価項目に加えて、viii) 生活用品の移動量、ix) 生活用品の移動回数、x) 布巾で拭いた距離、xi) 布巾をつかんだ回数を加える。この4つの項目については上記で述べた7つの項目と異なり点数化はせず、そのままの移動量または回数を保持する。追加する4つの項目について以下に述べる。

viii) 生活用品の移動量

効率的な机拭きを行うにあたって、机上にある物をどう動かすかは重要なポイントである。本システムでは、生活用品が机上の上をどれだけ動いたかを測定し、評価する。生活用品が(x1, y1)から(x2, y2)に動いた時の移動量を式(3)で計算する。机拭きを終えるまで全ての生活用品の移動量を計算し、終了後ですべてを合計したものをこの評価項

目での移動量とする。重なった状態の生活用品を移動させる場合は一つの物体としてとらえ、1度に移動させる生活用品の中心座標の移動量とする。

$$\text{移動量} = \sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2} \quad (3)$$

ix) 生活用品の移動回数

移動量と同様に、生活用品を移動させた回数も重要なポイントである。本システムでは、生活用品を移動させるごとに回数をカウントしていき、この合計回数で評価する。上記でも述べたように、重なった状態での移動に関しては一物体の移動としてとらえ、1度の移動に対して移動回数は1回とする。

x) 布巾で拭いた距離

本システムでは、遂行機能を評価するという観点から、同じ場所を複数回拭くことは効率的ではないと判断する。そこで、机拭きで取得したデータから布巾の移動距離を計算し、評価する。距離の計算は式(3)を使用し、すべての移動距離を足し合わせたものをこの評価項目での移動距離とする。

xi) 布巾を持った回数

机拭き検査において、生活用品の移動と机拭きは複数回行わなければ机上全てを網羅した机拭きを実施できない。しかし、机拭き→生活用品の移動→机拭きというような遷移を何回も行うことは効率的ではない。そこで、本システムではこの遷移回数は布巾を持った回数としてカウントし、評価する。

3.1.4 最適解の算出

3.1.1項の机上に置かれた生活用品の数とそれぞれの座標から最適な机拭きを計算する。3.1.2項で示したi)～vii)の点数は、大きな値ほど効率的な机拭きであるといえ、viii)～xi)は小さい値になるほど効率的であるといえる。i)～vii)の最大合計値が15であることから、15からi)～vii)の点数結果の合計を引くことで小さい値ほど効率的であるとする。この結果と、生活用品の移動量と布巾の移動量の合計、生活用品の移動回数と付近を持った回数の合計の3つを掛けた値が最も小さくなるものを最適解とする。

i)～vii)の点数をxi = (x1, x2...x7)とし、viii)とix)の結果をそれぞれd1とd2、ix)とxi)の結果をn1とn2とする。これらをから式(4)のように定式化することができる。目的関数：(15 - ∑_{i=1}⁷ xi)(d1 + d2)(n1 + n2) →最小

$$\begin{aligned} \text{制約条件：} \quad & 0 \leq \sum_{i=1}^7 xi \leq 15 \\ & d1 \geq 0, \quad d2 \geq 0 \\ & n1 \geq 0, \quad n2 \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

3.1.5 机拭き検査

この検査では、3.1 節の生活用品が置かれた机に対して、布巾を用いて机拭きを行う。その際、ユーザに対して効率的な机拭きの実施を促し、思考時間を与えたのち机拭きを行ってもらふ。また、正当な遂行機能評価を行うため、「生活用品を机上以外の場所へ置くこと」と「生活用品を持った状態での机拭き」を不可能にし、ユーザにもあらかじめ明示しておく。3.1.3 項でも述べたように、この検査場面では評価を行うためのデータとして、布巾が机と触れている際の座標、布巾を持った回数、生活用品を移動させたときの移動量、生活用品を移動させた回数を取得する。重なった状態の生活用品を移動させる場合は一つの物体としてとらえ、1 度の移動に対して移動回数は 1 回、移動量は 1 度に移動させる生活用品の中心座標の移動量とする。検査を行っている様子を図 8 に示す。

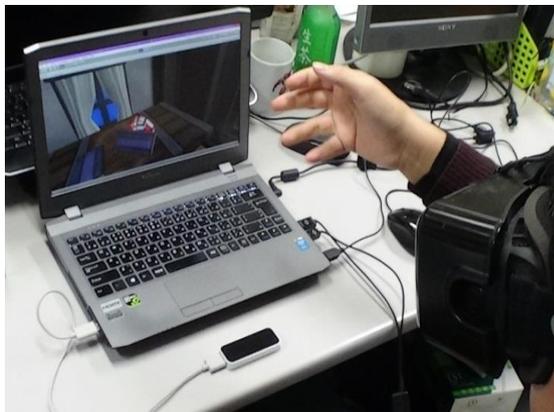


図 8 実験の様子

Figure8 Experiment overview

3.2 振り返り場面

認知検査において、ユーザに結果を納得させることは重要なことである。本システムでは、評価結果の出力と最適な拭き方を示すことでこれを実現する。評価結果と最適な拭き方の出力について次節より述べる。

3.2.1 評価結果の出力

検査で取得したデータは、3.1.2 項と 3.1.3 項で述べた手法により点数化を行う。そこで得た結果と最適解を比較することで遂行機能評価を行い、その評価結果を仮想空間上へ出力する。

3.2.2 最適な拭き方の出力

最後に、3.1.4 項で求めた最適解を基に最適な拭き方をユーザにフィードバックする。その際、アニメーションを用いることによって、ユーザにより分かりやすくする。このフィードバックを行うことによって、ユーザに対して評価結果の妥当性を明示的に示すことができる。

4. 実験

本方式で使用するパターン認識技術の認識率と評価結果の妥当性について検証を行うため、2 つの実験を行う。これらを実験 1 と実験 2 とし、次節に詳細を述べる

4.1 実験 1

この実験では、評価項目の規定パターンで用いるパターン認識の認識率、全体の正解率、適合率を測定する。実験を以下の①～④の手順で行う。

① 学習データをとる

実験参加者として学生 10 人（男子 9 人，女子 1 人）に参加してもらい、3.1.2 項で述べた既定の 4 パターンの机拭きをそれぞれ 10 回ずつ行ってもらふ。ここで得た 8 方向と 16 方向ベクトル特徴量を学習データとする。

② 未知データをとる

学生 10 人（男子 9 人，女子 1 人）に全 4 パターンの机拭きをそれぞれ 10 回ずつ行ってもらふ。ここで得た 8 方向ベクトル特徴量と 16 方向ベクトル特徴量を未知データとする。

③ 未知データを k-NN 法を用いて、認識を行う

取得した学習データから未知データを k-NN 法を用いてパターン認識を行う。本実験では、k=1, 3, 5, 7, 9 を求める。

④ 認識率、全体の正解率、適合率を算出する

認識結果から以下の式(5)、式(6)、式(7)を用いて、認識率、全体の正解率、適合率を算出する。

$$\text{認識率} = \frac{\text{正答数}}{\text{パターン毎の実施回数}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{正解率} = \frac{\text{全パターンの認識率の合計}}{\text{パターン数}} \quad (6)$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{正答数}}{(\text{正答数} + \text{他のパターンで認識した回数})} \times 100 \quad (7)$$

4.2 実験 2

この実験では、大学生健常者 20 名に対し従来の BADS テストの鍵探し検査と提案した遂行機能評価方式を行う。実験の手順は、鍵探し検査を行った後、2 週間の期間を空けて提案した手法を行う。そこで得た評価結果から相関をとる。

5. 結果・考察

実験結果と考察を次節から述べる。

5.1 実験 1

8 方向ベクトルと 16 方向ベクトルの認識率および全体の正解率を表 2 に示す。また、適合率を表 3 に示す。

表 2 よりパターンごとの最高認識率を見ると、パターン I が 77%、パターン II が 76%、パターン III が 86%、パターン IV が 98% になった。また、パターン I、II、III では、k の値が大きくなるにつれて認識率が低くなっている。表 2 と表 3 より、パターン IV の認識率が k の値が大きくなるに

表 2 8 方向ベクトルと 16 方向ベクトルの認識率(%)および全体の正解率(%)

Table2 Accuracy(%) and whole correct(%) of 8 directions and 16 directions

K の値	8 方向					16 方向				
	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
パターン I	77	75	75	75	75	75	56	46	37	33
パターン II	76	63	64	64	63	69	54	44	40	35
パターン III	66	56	55	55	56	86	64	61	54	45
パターン IV	60	56	57	57	60	72	90	95	97	98
全体の正解率	69.75	62.5	62.75	62.75	63.5	75.5	66	61.5	57	52.75

表 3 8 方向ベクトルと 16 方向ベクトルの適合率(%)

Table3 Precision(%) of 8 directions and 16 directions

K の値	8 方向					16 方向				
	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
パターン I	73.3	74.3	73.5	72.8	74.3	80.6	88.5	95.8	100	100
パターン II	77.6	73.3	73.6	72.7	73.3	83.1	81.8	81.5	81.6	83.3
パターン III	67.3	60.9	63.2	63.2	63.6	83.5	87.7	89.7	96.0	91.8
パターン IV	60.6	45.2	46.0	46.7	48	59.5	46.2	41.1	37.9	35.5

つれて高くなり、適合率は低くなった。これは、パターン IV が他のパターンの中に散布していることによって、誤認識を起こしているのではないかと考えられる。

本実験の結果から、パターン I とパターン II の最高認識率が 80% にも満たなかった。正確な認知評価の実現には全てのパターンで 100% に近い認識率が求められるため、認識率を向上させる必要がある。これは、4 つのパターンに加え「既定のパターン以外」を追加し、学習することで認識率を向上させることができると考えられる。また、実験結果から k の値が大きくなるにつれて認識率が低くなった。これは学習データが少なかったことによって、パターンごとに密集した散布にならなかったことが考えられる

5.2 実験 2

現在、それぞれの評価結果から相関をとり、提案した方式の妥当性を検証しているところである。BADs テストの鍵探し検査と提案した遂行機能評価方式の相関が取れる結果を出すことができれば、提案した遂行機能評価方式の有効性を示すことが期待される。

6. おわりに

今回、仮想空間でのリアルタイムな遂行機能評価方式を提案し、本方式で使用するパターン認識技術の認識率と評価結果の妥当性について検証を行った。パターン認識における認識率の実験結果から、最高認識率はパターン I で 77%、パターン II で 76%、パターン III で 86%、パターン IV

で 98% となった。正確な認知評価の実現には全てのパターンにおいて 100% に近い認識率が求められるため、認識率を向上させる必要がある。今後は認識率向上のため、4 つのパターンに加えて「既定のパターン以外」というパターンを追加し、再度認識率の検証を行う。加えて、実際に高次脳機能障害者を対象に評価を行い、有効性の検証を行っていく。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省研究費補助金（基盤 C 15K00368）の支援を受けた。

参考文献

- [1] 東京都高次脳機能障害者実態調査検討委員会：東京都高次脳機能障害者実態調査報告書，2008.
- [2] 東京都：高次脳機能障害者地域支援ハンドブック（改訂第 3 版），2016
- [3] 山里道彦，井上浩希，山倉敏之，ほか：高次脳機能障害症例に対するグループ訓練．認知リハビリテーション，15（1）：9-16,2010.
- [4] 大井翔，池ヶ谷剛，渋谷咲月，水野翔太，佐野睦夫，中山佳代，大出道子，荻原摩紀：“認知リハビリテーションのための一人称視点による生活行動の注意評価”，情報処理学会第 77 回全国大会，2015.
- [5] Wilson, B.A., Alderman, N., Burgess, P.W., Emshe, H. and Evans, J.J. : Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome. Thames, 1996.
- [6] 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.