

# 閾下学習は作業手続きの記憶を向上する

## Subliminal Learning Improves Procedural Memory

大澤 壮平<sup>†</sup>, 森 健太郎<sup>†</sup>  
Sohei Osawa, Kentaro Mori

<sup>†</sup>三菱電機株式会社  
Mitsubishi Electric Corporation  
Osawa.Sohei@ay.MitsubishiElectric.co.jp

### 概要

Continuous Flash Suppression を用いた閾下学習が作業手順の記憶効率と記憶定着に及ぼす影響を検討した。具体的には、複雑な系列からなる作業を分割し、1つの手順ごとに閾下呈示することで、①次の正しい作業手順を促すことが可能かと、②作業手順全体の記憶定着を促進可能か、を検証した。実験の結果、1つの手順ごとに閾下呈示することで、①次の正しい作業手順を促すことが可能であることと、②作業手続きを記憶できる量が増加することが分かった。

キーワード：閾下学習 (subliminal learning), 連続フラッシュ抑制 (continuous flash suppression), 作業訓練 (work training)

### 1. はじめに

「新しく覚える必要がある作業の手順をすんなり覚えられたら良いのに」と感じる場面は、日常に多く存在している。人間は限られた脳のリソースで、実に多様なことを記憶し、実行することを社会的に求められている。以上のようなニーズから、人間がある作業手順を記憶するためのサポートをするシステムが開発されてきている。例えば、VR (Virtual Reality) 技術や AR (Augmented Reality) 技術は、作業手順の学習とは相性が良く、実に多くの疑似訓練システムが研究されている[1-3]。中には、実際の企業訓練ですでに利用されているシステムも存在する[4, 5]。作業手順の記憶サポートシステムでは、人間にとって“都合の良い”方法で練習することにより、作業手順を比較的容易に身に着けることができる。こうした方法は、具体的には、機材や運用の面で低コストであったり、準備時間や待ち時間の短縮による高効率化であったり、人間にとって記憶し易い呈示方法であったりする。しかしながら、既存の記憶支援システムでは、作業手順を記憶するのに繰り返しの練習や積極的な学習が必要であり、「すんなり覚えられたら良いのに」という要望を満たすものは存在しない。

繰り返しの学習を必要とせずに情報を学習する手段として、無意識下で呈示された情報を無意識に学習 (以下、閾下学習と呼ぶ) する方法が提案されている。例えば、Memory Glasses[6]では閾下でヒントを視覚呈示することで、事前に呈示した他人の名前と顔に関する記憶を想起し、対象の正確な情報を引き出せるように支援できることが示されている。しかしながら、本研究で課題としているような記憶の定着の促進を、閾下の情報呈示によって実現できるかは不明確な部分が多い。関連する研究としては、9点問題と呼ばれる洞察問題に対して、閾下で系列的な解法手順を呈示することで、正答者数の増加や指示した解答手順の増加が見られた研究[7]が挙げられる。同様に、ストーリーのある物語を複数枚の簡易的な図で表現して閾下で系列呈示することで、登場人物 (図形) の状況や関係性を学習できたとする研究[8]や、図形同士がぶつかる、もしくは一旦重なってすれ違うような微妙な因果関係による挙動の違いも、閾下で系列呈示することで学習できたとする研究[9]が存在する。以上の研究は、複雑な系列情報を分割して、閾下で複数回に分けて呈示した場合でも、それらの情報のある種統合的に学習できる可能性を示唆している。実際に統合的な処理が発生するのかについては詳細な検討が必要ではあるが、少なくとも複数の閾下呈示情報を何らかの形で保持しているとは考えられる。こうした記憶保持のメカニズムとして、implicit working memory と呼ばれる無意識の working memory が提案されている[10]。implicit working memory とは、意識はされないが閾上の working memory と同様の働きをおこなう機構であり、詳細な議論が交わされている段階ではあるが、無意識下でも複数の情報を記憶・保持できる可能性を示すものである。

こうした研究から、作業手順の記憶促進についても、作業手順を分割して系列的に閾下呈示することで、無意識下での学習と記憶定着を促せる可能性があると考えられる。本研究においては、閾下学習が作業手順の記憶効率と記憶定着効果に及ぼす影響を検討する。閾下

学習が作業手順の記憶も促進できるなら、本人の自覚なく手順を学習することができ、「すんなり覚えられたら良いのに」という要望を実現する記憶支援システムに応用できると考えた。

## 2. 関連研究

### 2.1 作業手順と作業スキル

“ある作業を覚える”というタスクにおいては、作業手順の暗記と、作業スキルの習得の2つの段階が存在していると指摘されている[11]。作業手順の暗記とは、実際に作業の手順や方法を記憶するものであり、記憶の形態としては宣言的記憶に近いものである。作業スキルの習得とは、作業におけるコツや感覚を身に着けることであり、記憶の形態としては手続き的記憶に近いものである。作業手順の暗記は、手順が変更されるたびに覚え直す必要がある。一方で、作業スキルの習得は、一般的に反復練習が必要であるが、一度身につけば作業手順が変更されてもある程度応用可能である。

従来の作業の記憶サポートシステムでは、主に作業スキルに焦点を当てつつ、繰り返し作業を行うなかで作業手順も暗記することが期待されていた[1, 2]。しかしながら、そこまで熟練した作業スキルを身に着ける必要のない作業も多く存在する。従来のシステムでは、作業スキルが高度ではない場合にも、実際に作業手順を暗記するために、繰り返し作業を実施する必要があった[3-5]。作業手順の暗記のみに着目したうえで、繰り返しではなく暗記の効率向上を試みた例として、先行研究[11]が挙げられる。この研究では、各々の作業の記憶し易さや作業全体の順序フローに基づいて、最適な順で手順を暗記させることで記憶定着を促進できる可能性を示している。しかしながら、この研究で検討した情報提示は頭痛的なものであり、意識的に必要な学習量は変わらず、依然として学習時の心理的ハードルは高い。

本研究では、まずは作業の手順の暗記に焦点を当て、意識的な暗記学習を必要としない作業手順記憶方法によっても作業の手順の暗記が促進されるかを検討する。

### 2.2 関下学習と Continuous Flash Suppression

関下学習の効果やメカニズムについては、まだ多くの検証がなされている段階であり、その適応範囲や効果量についても議論の途中である。よって、関下学習によって作業手順の暗記が促進されるかについても不明

確な点が多いが、複数の系列情報を記憶して利用できたとする研究も存在するため[7-9]、検討の余地はあると考えられる。

また、関下学習は基本的にその効果量は大きくなく、特に課題が複雑になるほど、有意な差や明確な効果が表れないことも多い[12]。これを踏まえ、Continuous Flash Suppression[13]（以下、CFS と呼ぶ）という両眼視野闘争[14]をベースにした刺激呈示方法を用いることで、関下学習の効果を大きくする方法が開発されている。CFS では、両眼に異なる映像を呈示した際に、片目の輝度や変化量をもう片目に比べて一定以上に高くすると輝度や変化量の低い方の映像が認識できなくなるという特性を利用し、片目に関下呈示したい内容を、もう片目に輝度変化の激しい映像を呈示する。CFS を用いることで、数十秒から数分に渡る連続関下呈示が可能になり、より強い関下学習を実現している。例えば、既に述べた9点問題やTパズル（与えられた図形を組み合わせるとT字を作るパズル）を解く、といった洞察問題と呼ばれる複雑な課題に対するパフォーマンスの向上を実現している[7, 15]。

本研究ではCFSを用いた関下学習に着目し、作業手順を暗記したいユーザが作業を暗記する際に、関下で作業手順を学習させることを目指す。

### 2.3 自己効力感やポジティブ感情と記憶

関下学習によって意識的な学習過程を減らすことにより、覚えたい事柄を努力しなくてもすらすらと覚えられた感覚を生起できる可能性がある。このような感覚は、自己効力感の増加に結びつくが、自己効力感が記憶力の向上や学業成績の向上に影響することが知られている[16, 17]。

また、記憶定着と感情に関する研究として、ポジティブな感情を喚起する出来事が記憶されやすい「ポジティブ優位説」、感情の方向性にかかわらず感情の強さのみが影響するとする「覚醒度説」や、感情の強さが弱いと感情の方向性で記憶定着に差はないが、感情の強さが強いとポジティブ感情のほうが記憶定着しやすいとする「交互作用説」等が挙げられている[18]。研究によって結果が一貫していないが、強いポジティブ感情状態では、概ね記憶が定着しやすいといえる。（ただし、ネガティブな感情が記憶を定着させやすくなる「ネガティブ優位説」[18]もあり、強いネガティブ状態でも記憶定着が促進されやすい点には注意が必要である。）

以上のような結果から、関下学習によって生起され

た自己効力感や感情変化が、副次的に記憶向上につながる可能性が考えられる。そこで本実験においては、効果の検証のしやすさも考え、作業手順暗記時の自己効力感（できた感）の測定も実施する。

### 3. 方法

#### 3.1 課題とする作業の設定

本研究では、作業手順の暗記支援を対象とする。まずは簡易化した作業で効果を検するため、“箱を任意の方向に何度も回転させる作業”（以下、箱回転タスクと呼ぶ）を採用した。箱回転タスクでは、ユーザの肉体的要因や作業慣れ等の複雑な剰余変数を排除できると考えられる。さらに、手元で作業が完結して危険性も少なく、特殊な装置が必要ないメリットもある。

箱回転タスクの箱の1操作での回転方法としては、図1のように、とある面に対して右、上、左、下、時計回り、反時計回りの6方向のいずれかに90度の回転操作が実施でき、この規則に沿って何度も回転がおこなわれる。箱は全ての面にユニークな印字的特徴があり（ただし、黒を基調とした白黒印刷で色味に大きな特徴はない）、面の大きさもバラつきがあるため、1枚の画像のみで面の状態の判断が付くものを利用した。第3.2節で後述するように、関下で呈示する内容は次の回転操作を実施した後の箱の静止画像であるが、面の状態がユニークであるために回転すべき方向が一意に定まる。

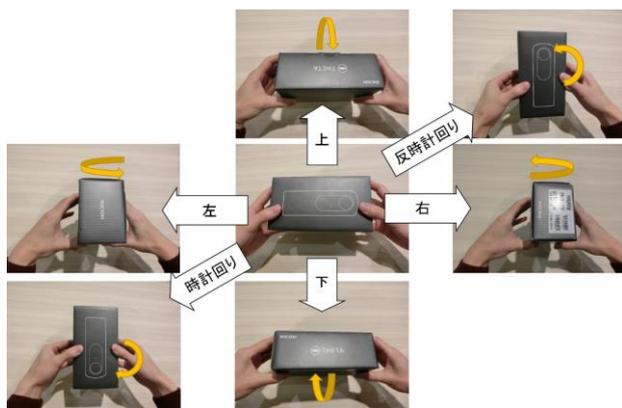


図1 箱の1操作当たりの回転方法

#### 3.2 作業手順の関下学習方法

本研究では、作業手順の暗記支援を対象としており、覚えるべき手順は先行研究よりも多く、複雑であると考えられる。複雑な作業手順を関下で学習させる方法として、先行研究[7-9]のように、作業手順を次の作業手

順が推測できるギリギリのレベルに分割し、系列情報として呈示する方法が考えられる。箱回転タスクにおいては、回転操作を実施した後の箱の状態を静止画として獲得し、その静止画を回転操作分だけ系列呈示することが考えられる。しかしながら、系列情報として呈示する数は、先行研究では5点程度までになっている。本研究で対象とするような作業手順においては、作業を分割することで、先行研究よりも系列呈示すべき情報数が極めて大きくなる懸念される。関上と同様に関下で保持できる情報量にも限界があると考えられるため、分割した作業手順を事前にまとめて関下呈示しても記憶できない可能性が高い。さらに、作業手順の指示情報は、先行研究の記号化された指示情報に比べて、1枚あたりの情報量も多い可能性がある。

本研究では、分割した作業の1手順1手順ごとに、リアルタイムな関下学習により次の作業内容の指示をおこなう。具体的には、次の回転操作後の箱の静止画を関下呈示しながら、リアルタイムに実物の箱を持って次に回すべき方向を決定してもらう。正しい方向に箱を回転したら、また次の回転操作後の箱の静止画を関下呈示し、箱の回転操作を実施してもらう。これを繰り返すことにより、1操作あたりの呈示情報数が少なくなり、先行研究[15]等の結果を踏まえても関下学習の効果が期待できると考えられる。なお、このような呈示方法で関下学習効果が期待されるのは、次にすべき作業が無意識的に分かるという、1つの手順ごとの課題に対する効果であり、作業全体の手順を系列的に学習できるかは定かではない。しかしながら、先行研究[7-9]同様に、複数の系列情報を記憶できる可能性は否定できない。また、1度関上でも記憶されることにより、記憶定着効果に対して、よりポジティブな効果を生み出すことも考えられる。

#### 3.3 CFSを利用したリアルタイム関下学習方法

CFSを利用した関下学習の先行研究[例として7, 15]では、目の前に鏡を置き、左右それぞれの目で違うモニター画面が見えるようにした装置を利用することが大半である。この装置は事前に関下学習をおこなった後に、関下学習の効果を検討する課題をおこなう上では問題にならない。しかし本研究では、第3.2節で述べたようにリアルタイムに関下学習を用いて作業支援をおこなう必要がある。そのため、作業する手元と関下学習させる内容とCFSをもたらず刺激をリアルタイムに同時に呈示し、かつユーザの作業を阻害しない情報呈

示を実現する必要がある。

そこで遮蔽型 Head Mounted Display (以下、HMD と呼ぶ) に web カメラを取り付けたものを利用し、片目にユーザの 1 人称視点のシースルー映像と CFS をもたらすモザイク刺激を合成して呈示しつつ、もう片目に次におこなうべき作業の画像を呈示する手法を考案した(図 2)。アプリケーションは Unity を用いて作成し、CFS をもたらす刺激は Unity のパーティクル機能を用いて実装した。箱回転タスクでは、右目にシースルー映像と CFS をもたらす刺激を、左目に次におこなうべき箱の回転操作後の箱の向きの画像を呈示しており、左右の切り替えはできない。見え方に関しては予備検討をおこない、左目の映像に意識がいかなくなるように両目の輝度の高さや映像を出す位置・大きさ等を調整した。人間は右目が利き目の割合が多く[19]、両眼視野闘争において利き目により意識が向かいやすいこと[20]から、簡単のために左目を関下呈示用とした。利用機材としては、HMDにはFOVE社のFOVE0を使用し、PCにはマウスコンピュータ社の G-Tune NEXTGEAR-NOTE i7901 を使用した。web カメラには、Logicool社のC615を使用した。アプリケーション動作環境としては、Windows10環境でUniyu5.6を用いて開発をおこなった。画面のリフレッシュレートは60fpsであった。

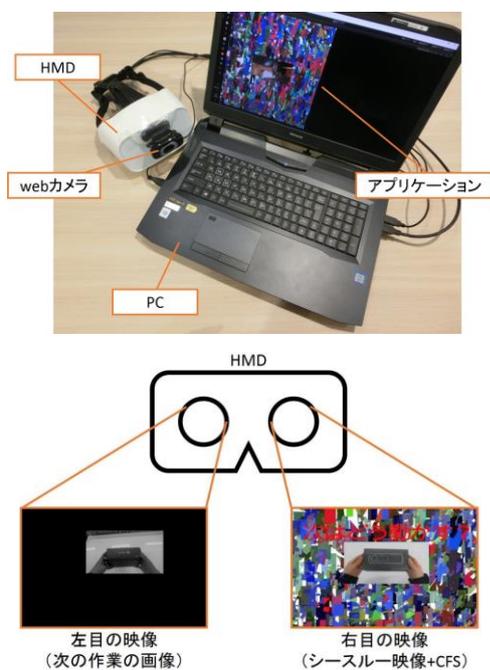


図2 呈示方法と構成

### 3.4 作業手順の分割と切り替え方法

左目には次におこなうべき作業が現在のユーザの状

況に応じて呈示されている必要がある。すなわち、箱回転タスクでは現在の箱の向きを認識し、ユーザが正しい方向に箱を回転させる度に、次に回転操作を実施した後の箱の向きの画像に差し替える必要がある。本研究では、関下学習を用いた作業暗記効果の検証が目的であるため、箱の向きは実験者が目視で判断し、実験者のキー操作で参加者に関下呈示する画像を切り替える仕組みとした。

### 3.5 仮説

以上で述べたような関下学習による作業手順の記憶方法を用いた効果として、第3.2節で述べたように、次の仮説が考えられる。

- ① 1つの手順ごとの関下呈示情報によって、次の正しい作業手順を促すことが可能である
- ② 1つの手順ごとの関下呈示による学習によって、感情変化や関下での記憶メカニズム等が働き、作業手順の記憶量が促進される

本研究では、これら2つの仮説について検証実験をおこなう。

### 3.6 実験方法

実験のフローを図3に示す。練習では、実験参加者には装着したHMDからは右目にのみ映像が呈示されることを伝え、左目の映像がない(=黒色一色のブランク画像が呈示されている)状態で装置の使い方と実験手順を十分に練習する。本実験は3つのフェーズからなる。まず、ビデオ記憶フェーズでは1人称視点の箱回転操作のお手本動画を右目のみに1度だけ呈示し、回転操作手順の暗記を求められる。次に、暗記テストフェーズでは実験参加者は記憶を頼りに、暗記テストという名目で関上学習と同時に関下学習を実施する。実験参加者は箱を正しいと思う方向に1操作ずつ動かし、その都度、口頭で正解不正解のフィードバックを受ける。正解の場合は次の操作を引き続きおこない、不正解の場合には不正解操作の前の状態に戻ってから、正解の操作を選択するまで、箱の回転操作をおこなう。1度間違えた操作を再び実施した場合には、その旨を伝え、採点の際には間違いとしてのカウントから除外したため、1操作で最大5回まで間違える可能性がある。この間違えた回数を記録して誤答数として算出する(図4)。暗記テスト終了後に、実験参加者はシステムの使用感に関する7段階のアンケートに回答する。その後1分間の休憩を挟み、記憶定着テストフェーズへ移行する。

記憶定着テストフェーズでは、作業手順をどこまでで記憶できたか計測をおこなう。実験参加者にはシステムの装着や口頭での正解不正解のフィードバックは一切おこなわず、正しいと思う操作を最初から最後まで一気に実施する。それをビデオで記録して、どれだけ正しい操作を実施できたか評価する。操作系列の正誤を評価する際には、しばしばレーベンシュタイン距離などの系列の差異を評価する指標が用いられる[21]が、操作系列のヒントを逐次的に呈示し、繰り返し修正が可能な本研究の評価指標としては適切でないと考えた。

また、関下での呈示内容も回転操作方向ではなく、操作後の箱の面であり、一度操作を間違えるとヒントとしての整合性は失われ、その後の操作のヒントにはなり得ない。そこで、本研究ではスタートから何回目の操作までを間違えずに再現できたかを計測し、指標とした。その後、テストの出来などへの7段階のアンケートに回答する。ここまでの本実験フェーズのタスクを1試行として、1人あたり計4試行の実験をおこない、最後に違和感等についてのアンケートに回答させる。ここでHMDの左目側から呈示される画像に気が付いた実験参加者に関しては実験結果から除外する。各試行で覚えるべき操作手順を別のものにするため、4パターンの操作手順を用意した。箱の回転操作数は4パターンで全て10回に設定してあるが、実験参加者が暗記のコツをつかまないように回数は伝えていない。操作回数を10回に設定したのは、少なくとも1度見ただけでは完璧に覚えるのがほぼ無理な難易度に設定するためである。なお、暗記テストフェーズは仮説①の検討を、記憶定着テストは仮説②の検討をおこなうものである。

実験参加者は両目視力に自認する異常が無い20代の男女12名である。暗記テストフェーズの際に、呈示条件として、左目のヒント画像が呈示される条件(以下、表示あり条件)と左目のヒント画像が呈示されず、ブランク画像のみが呈示される条件(以下、表示無し条件)を設定した。この2条件を表1に示すように実験参加者に割り当てた。1試行あたりに表示あり条件の人数6人、表示無し条件の人数6人となるようにし、群間での比較をおこなった。学習効果と操作手順による難易度変化を加味するため、4パターンの操作手順の試行順序はすべての実験参加者で同じにしてある。

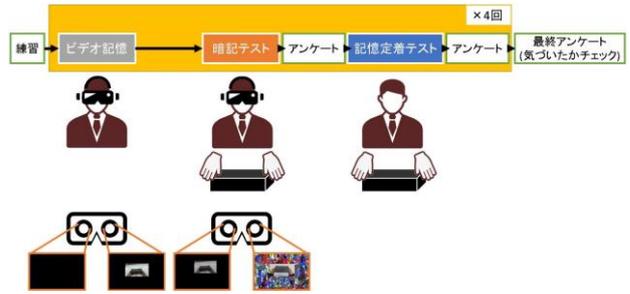


図3 実験フロー

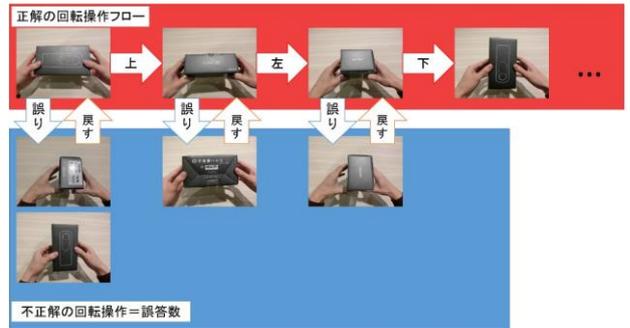


図4 暗記テストの手順と誤答数のカウント方法

表1 実験参加者と各試行での正答表示有無の対応表

試行番号 実験参加者	1	2	3	4
A	表示有り	表示有り	表示無し	表示無し
B	表示有り	表示無し	表示有り	表示無し
C	表示有り	表示無し	表示無し	表示有り
D	表示無し	表示無し	表示有り	表示有り
E	表示無し	表示有り	表示無し	表示有り
F	表示無し	表示有り	表示有り	表示無し
G	表示無し	表示有り	表示無し	表示有り
H	表示無し	表示無し	表示有り	表示有り
I	表示有り	表示有り	表示無し	表示無し
J	表示有り	表示無し	表示有り	表示無し
K	表示有り	表示無し	表示無し	表示有り
L	表示無し	表示有り	表示有り	表示無し

## 4. 結果と考察

### 4.1 結果

最終アンケート時に左目の映像に気が付いた実験参加者は12人中0人であった。そのため、以降では全ての実験参加者の結果について解析をおこなう。

図5は、暗記テストフェーズでの誤答数について個人ごとに全試行の平均と分散から標準化をおこない、左目に正答が表示される場合とされない場合で試行ご

とに平均値を取った結果である。この図から、すべての試行で左目に正答が表示される場合には、表示がない場合よりも誤答数が少ないことが分かる。条件間の片側スチューデントの t 検定を実施したところ、試行 1, 3 では有意傾向 ( $p=0.082$ ,  $p=0.053$ ) が試行 2 と 4 試行平均では有意差 ( $p=0.017$ ,  $p=0.0018$ ) が見られた。全体の平均値 (12.5 回)・分散 (4.9 回) を加味すると、左目に正解画像が表示されている場合にはおよそ 10.7 回間違えるのに対して、ない場合には 14.2 回の間違いが発生しており、3.5 回分程度 (25%) 誤りが改善されることが分かる。図 6 は暗記テスト後のアンケート結果である。各アンケート項目で条件間の片側スチューデントの t 検定を実施したところ、左目に正答が表示される場合とされない場合での有意な差は見られなかった。特に、「手順を完璧に覚えられたと思いますか」、「手順はすんなり覚えられましたか」の項目についても主観的には同じであった。さらに、「映像酔いしましたか」の回答から、この装置による映像酔いは今回の実験では見られなかったことも分かる。

図 7 は、記憶定着テストフェーズにおいてスタートから何回目の操作までを間違えずに再現できたかについて個人ごとに全試行の平均と分散から標準化をおこない、左目に正答が表示される場合とされない場合で試行ごとに平均値を取った結果である。この図から、すべての試行で左目に正答が表示されていた場合には、表示がなかった場合よりも操作手順を多く記憶していることが分かる。条件間の片側スチューデントの t 検定を実施したところ、試行 1, 2, 3 と 4 試行平均では有意差 ( $p=0.035$ ,  $p=0.018$ ,  $p=0.048$ ,  $p=0.0004$ ) が見られた。全体の平均値 (2.5 回)・分散 (2.4 回) を加味すると、左目に正解画像が表示されていた場合にはおよそ 3.5 回目の操作まで正しい操作を覚えているのに対して、ない場合には 1.6 回目の操作までしか正しい操作を覚えておらず、1.9 回の操作分 (およそ 2 倍) 正しい操作を覚えていることが分かる。図 8 は記憶定着テスト後のアンケート結果である。各アンケート項目で条件間の片側スチューデントの t 検定を実施したところ、暗記テスト後のアンケート同様に、主観的には左目に正答が表示される場合とされない場合での有意な差は見られなかった。

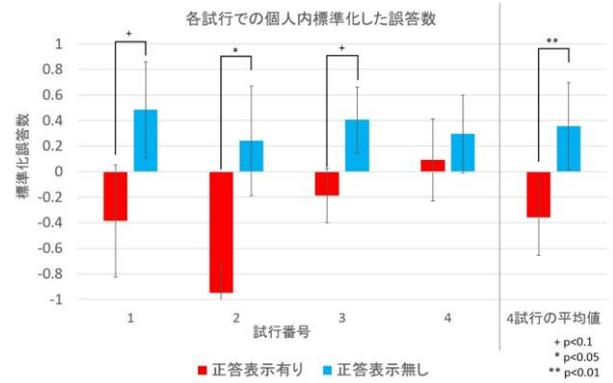


図 5 暗記テストの各試行での誤答数

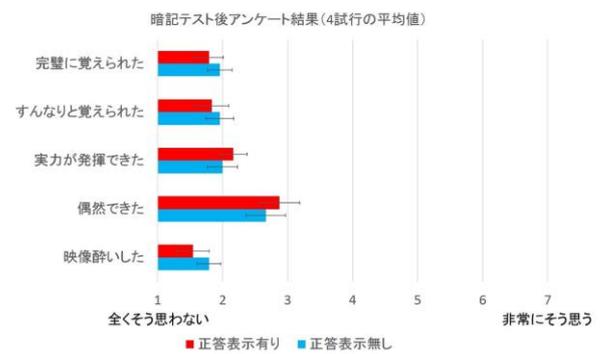


図 6 暗記テスト後のアンケート結果

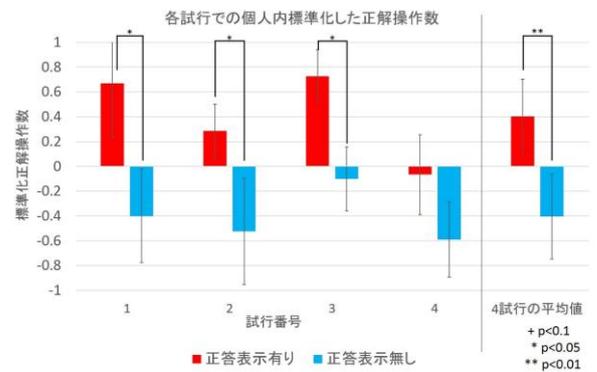


図 7 記憶定着テストの各試行での正解操作数

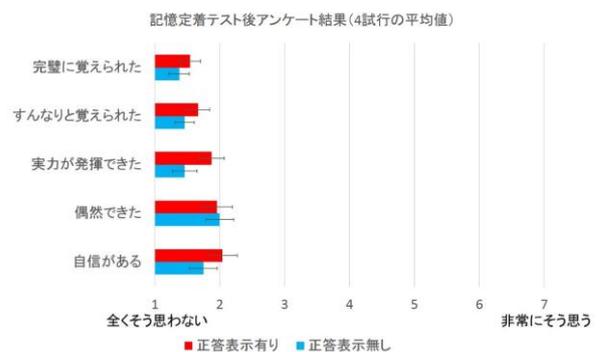


図 8 記憶定着テスト後のアンケート結果

## 4.2 考察

暗記テストでの条件間の誤答数の変化から、闕下で作業手順を1つずつ呈示することで、無意識のうちに次の作業手順を学習できていることが分かる。すなわち、仮説①の通りに1つの手順あたりにおいて闕下学習の効果が見られた。その効果は平均値で見るとおよそ3.5回分(約25%)誤りを減らせる程度である。これは個人内での試行ごとの分散の全体平均(4.9回)や個人間分散(4.2回)よりも小さい程度の効果であり、闕下学習の先行研究の効果を考えると、妥当な結果であると考えられる。

一方で、アンケートによる主観的な“できた感”には差が見られなかった。今回のタスク(動画をたった1回だけ見て手順を記憶する)は、かなり難しい難易度であったため、全体的に成績が低かった。そのため、実験参加者がほとんどできなかったという印象を持ってしまったことが原因であると考えられる。闕下学習の効果を考えると、数値的な改善は見られるものの、主観的に“できた”と感じさせるほどの効果はないのかもしれない。しかし本実験では成績のフィードバック等は一切おこなっていないため、明示的なフィードバック等により、できた感を演出できる可能性は排除できない。

記憶定着テストでの記憶量の結果においても、1.9回分(約2倍)の操作だけ多く覚えられるという結果が得られた。これは個人内での試行ごとの分散の全体平均(2.4回)や個人間分散(2.0回)程度の効果である。実験参加者が闕下学習(正答表示有り)によって有意な感情状態の差がなかったことから、この記憶定着効果は、ポジティブ感情等の相互作用により生じたものではないと考えられる。すなわち、先行研究[7-9]同様に、系列的な情報が記憶された結果であると考えられる。これは、仮説②の1つの手順ごとの闕下学習の効果によって手順の記憶が促進されることを支持するものである。

以下では、得られた結果について、implicit working memoryの観点から考察する。より詳細な検証は必要であるが、記憶定着テストの結果から、時間をおいて非連続的に系列情報を呈示した場合でも、系列情報を複数記憶できる可能性が示された。学習経路についても不明確な点が多いが、少なくとも、闕下学習を実施した条件で記憶定着テストの結果が上昇したことから、無意識下での学習が記憶を向上したことは確かであるといえよう。本結果は、implicit working memoryのような無意識下のworking memoryの存在を後押しする結果と捉

えられるかもしれない。implicit working memoryは、完全には解明されていないもののworking memoryへの認知負荷の影響を受けずに機能するという見解もある[22]。同様に、working memoryへの認知負荷によってimplicit working memoryでの学習がむしろ促進できたことを示唆する研究もある[15]。以上の先行研究からは、少なくともworking memoryへの認知負荷が、implicit working memoryでの学習を阻害せず、むしろプラスに働き得るものであることが伺える。本研究においては、正答表示なし条件では、闕下学習は発生せず、闕上でのみの学習となる。一方で、表示あり条件では、闕下学習と闕上学習が同時に起こっていると考えられる。1つの仮説として、両working memoryが独立して機能したことで、単純に利用できる作業記憶の容量が増え、さらにお互いにかかる認知負荷がマイナスの干渉をせずに記憶が適切に保持されたために、より多くの系列情報を記憶できたと説明できる。ただし、両working memoryに跨った情報の統合や利用が可能かについてはより詳細な検討が必要である。

以下では本研究の限界を述べる。まず、すでに述べたように、記憶促進のメカニズムについては、本実験の結果のみでは不明確な点が多い。特に、闕下の系列情報がどのように作業手順として統合的に記憶されるに至ったかは不明である。さらに、本実験では、宣言的記憶などの長期記憶との関連についても不明確な点が多い。特に、闕下学習から1分間の間隔しか開けておらず、しかもその間アンケートなどの別作業を実施させたとはいえ、脳内で反復的な想起があったかも不明である。この点に関しても、今後さらなる調査が必要である。加えて、実験での作業タスクを箱の回転操作という単純なものとしたため、本研究の目的である実際の複雑な作業手順の記憶支援にどこまで応用可能かは不明確である。実際の作業には、対象の形状を大きく変形するものや道具を利用するもの、動きの過程が重要となるものなど多岐にわたる。どのような種類の作業タスクにまで本研究の効果が適用可能かを評価する必要がある。実際に複雑な作業手順に応用し、現場で利用するためには、闕下呈示できる情報や呈示方法そのものを拡張することも必要であると考えられる。作業学習者にとって疲労や違和感のない表現方法や、静止画以外の情報伝達方法についても今後の検討課題である。

## 5. 結論

本研究では、すらすらと対象を覚えられる理想的な記憶促進システムを開発することを大目標に、まず、CFSを用いた関下学習に着目して、関下学習が作業手順の記憶効率と記憶定着効果に及ぼす影響を検討した。具体的には、複雑な作業手順を系列認識可能な範囲で分割し、1つの手順ごとに作業と同時にリアルタイムに関下学習を実施することで、先行研究[15]同様に正しい作業手順を無意識に促すことが可能か、また先行研究[7-9]同様に系列的な情報の記憶が可能かを検証した。

実験の結果、1つの手順ごとで見れば、無意識のうちに次の作業手順を理解でき、暗記テストにおいて、関下学習によりおよそ25%作業の誤りを減らせることが分かった。これは、作業手順の暗記というタスクにおいても、作業を適切に分解することで先行研究[15]同様の関下学習の効果が得られることを示している。

また、主観的なアンケート結果では、ユーザの“できた感”を含めた感情変化は起きなかったものの、学習後の記憶定着テストにおいては、関下学習によりおよそ2倍の操作を覚えられるという結果が得られた。これはポジティブな感情等による副次的効果ではなく、関下学習の結果として記憶の定着が促されたことを示唆している。また、分割して時間をおいて関下提示した系列情報を、先行研究[7-9]同様に、記憶・保持できたことも示唆している。

以上のような結果の一因として、関下学習をおこなうことで、implicit working memoryがworking memoryとは独立して機能したため記憶容量増加が起きたと仮定することができるが、より詳細な検証が必要である。

## 謝辞

本研究をまとめるにあたり、三菱電機株式会社の岡隆之介氏、根岸博康氏に多大なご協力をいただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

## 文献

- [1] 檜山敦ら, (2011) “一人称視点からの多感覚迫体験による伝統技能教示支援”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16.4, pp. 643-652.
- [2] Kawasaki Hiroki, et al, (2010) “Collaboration and skill transmission by first-person perspective view sharing system”, 19th International Symposium in Robot and Human Interactive Communication. IEEE, 2010, pp. 125-131.
- [3] Kajiwara, Y., and K. Tunesada, (2008) “Analysis of effects of virtual reality based assembly training”, Journal of Japan

- Industrial Management Association, Vol. 58, pp. 162-172.
- [4] Boeing, (2017), Productive VR Cuts Training Time by 75%, <https://tmt.knect365.com/ar-vr-world/highlights> (2020/05/08)
- [5] VR SCOUT, (2017), KFC Has A VR Job Training Simulator For New Employees, <https://vrscout.com/news/kfc-vr-job-training-simulator-new-employees/> (2020/05/08)
- [6] DeVaul, Richard W, et al, (2003) “The memory glasses: subliminal vs. overt memory support with imperfect information”, Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, IEEE, 2003, pp. 146-153.
- [7] 小田切史士, 鈴木宏昭, (2020) “系列情報の関下提示が洞察問題解決に与える影響”, 認知科学, Vol. 27.1, pp. 7-12.
- [8] Kawakami Naoaki, Fujio Yoshida., (2015) “Perceiving a story outside of conscious awareness: when we infer narrative attributes from subliminal sequential stimuli”, Consciousness and cognition, Vol. 33, pp.53-66.
- [9] Moors, Pieter, et al, (2017) “Causal events enter awareness faster than non-causal events”, *PeerJ* 5, e2932.
- [10] Hassin, Ran R., et al, (2009) “Implicit working memory”, Consciousness and cognition, Vol. 18.3, pp.665-678.
- [11] Jittachalothorn, P, (2000) “A study on memorization advancement method of work sequence”, The Japanese Journal of Ergonomics, Vol. 36.3, pp. 105-117.
- [12] Goldstein, Ariel, and Ran R. Hassin, (2017) “Commentary: Definitely maybe: can unconscious processes perform the same functions as conscious processes?”, *Frontiers in psychology* 8, 1230.
- [13] Tsuchiya Naotsugu, and Christof Koch, (2004) “Continuous flash suppression”, *Journal of Vision*, Vol. 4.8, pp. 61.
- [14] 小林哲生, (2005) “両眼視野闘争: その謎解きから意識を探る”, 認知神経科学, Vol. 7.1, pp. 44-49.
- [15] Suzuki Hiroaki, et al, (2014) “Exploring the unconscious nature of insight using continuous flash suppression and a dual task”, *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Vol. 36, No. 36.
- [16] West, Robin L, et al, (2008) “Self-efficacy and memory aging: The impact of a memory intervention based on self-efficacy”, *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, Vol. 15.3, pp. 302-329.
- [17] Jraidi, Imène, and Claude Frasson, (2010) “Subliminally enhancing self-esteem: impact on learner performance and affective state”, *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [18] 野畑友恵, 越智啓太, (2005) “記憶に及ぼす覚醒度の効果は快・不快感情によって異なる: 覚醒度説への反証”, 認知心理学研究, Vol. 3.1, pp. 23-32.
- [19] Carey, David P, (2001) “Vision research: Losing sight of eye dominance”, *Current Biology*, Vol. 11.20, pp. R828-R830.
- [20] Dieter, Kevin C., et al, (2017) “Individual differences in sensory eye dominance reflected in the dynamics of binocular rivalry”, *Vision research*, Vol. 141, pp. 40-50.
- [21] Schumann, S., et al, (2013) “Distance measures for surgical process models”, *Methods of information in medicine*, Vol 52.05, pp. 422-431.
- [22] Ji, Eunhee, et al, (2017) “Independent operation of implicit working memory under cognitive load”, *Consciousness and cognition*, Vol. 55, pp. 214-222.