

指差喚呼のエラー防止効果の検証

増田 貴之* 重森 雅嘉** 佐藤 文紀*
芳賀 繁***

Error Prevention Effects of Point and Call Checks

Takayuki MASUDA Masayoshi SHIGEMORI Ayanori SATO
Shigeru HAGA

Point and Call checks (P&C Checks) is broadly used in various industrial fields in Japan. Several studies have demonstrated that the P&C Checks has error prevention effects experimentally, but the error prevention mechanisms of P&C Checks have not been verified sufficiently. Therefore we experimentally investigated the following five error prevention effects: (1) eye fixation with pointing, (2) memory enhancement with calling, (3) error awareness with calling, (4) arousal with pointing and calling, (5) delay of responses with pointing. The results of the experiments indicated each error prevention effect.

キーワード：指差喚呼，エラー防止効果，ヒューマンエラー，安全

1. はじめに

指差喚呼は、「確認や操作の対象を指差し、対象の状態や操作内容を発声する確認方法」である。運転士の信号確認を始め、ホームの安全確認や機器の操作時など、様々な場面で用いられている。

指差喚呼のエラー防止効果については過去にも検討がなされており、その効果が確かめられている^{1) 2)}。指差喚呼がエラー防止効果を持つ理由として、以下の5つが挙げられている。

- (1) 指差は、自己を対象に近づけ、刺激を正確にかつ鮮明に網膜に伝える³⁾（指差による視線停留効果）。
- (2) 指差は、知覚と反応との間のタイムラグを増やし、焦燥反応を抑制する²⁾（指差による反応遅延の焦燥反応抑制効果）。
- (3) 喚呼は、名称を思い出して発話するため、意識を対象に集中させ、記憶の形成を助ける³⁾（喚呼の記憶強化効果）。
- (4) 指差と喚呼の併用は、視覚、聴覚などの動員により認知の精度を高める³⁾（指差喚呼によるエラー気づき効果）。
- (5) 指差と喚呼の併用は、顎や手や腕の筋肉運動が刺激となって脳の活動レベルを上げる³⁾（指差喚呼による覚醒効果）。

先行の文献や研究においてこれら5つの効果が指摘されているものの、この中には実験的に検証されていない効果や、検証が不十分な効果も含まれている。指差による視線停留効果、喚呼による記憶強化効果、指差喚呼によるエラー気づき効果、指差喚呼による覚醒効果については、実験的に検証されていない。また、指差による反応遅延の焦燥反応抑制効果については、実験結果³⁾に基づいてはいるが、実験中の観察から得られた印象にとどまっている。

そこで、本研究では、これら5つのエラー防止効果を実験的に検証することを目的とした。検証したエラー防止効果と指差喚呼の要素、検証に用いた実験課題を表1に示す。

2. エラー防止効果の検証

2.1 実験1（視線停留効果の検証）

2.1.1 目的

指差による視線停留効果を検証するために、実験を行った。

2.1.2 方法

実験参加者 80名の大学生（男性40名、女性40名、平均年齢20.9歳、標準偏差1.83）が実験に参加した。実験参加者は、指差を行う条件、行わない条件のいずれかに割り当てられた。

実験課題 実験課題は、デジタルディスプレイに提示されたターゲットの点（白抜き丸）を数える課題とした（図1）。この際、課題の難易度を高めるため、ディストラクター（数える必要のない妨害刺激）を提示した。指

* 人間科学研究部 安全心理研究室

** 前 人間科学研究部 安全心理研究室

*** 立教大学（現代心理学部）

表 1 指差喚呼のエラー防止効果と実験課題

課題	指差喚呼の要素	要素の機能	防止できるエラー
点数え課題	指差	視線停留	類似したものの見間違い
Task-switching 課題		反応遅延	習慣の割り込み, 慌て
N-back 課題	喚呼	記憶強化	やったかどうかの不安
Go/no-go 課題		エラーの気づき	習慣の割り込み, 慌て
ヴィジランス課題	指差喚呼	覚せい維持	ぼんやり

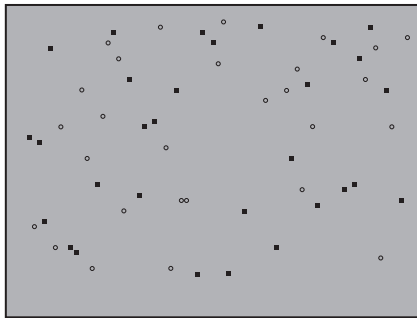


図 1 点数え課題（○がターゲット，■がディストラクター）

差をすることで、対象に視線が停留しやすくなるのであれば、視線がすでに数え終ったターゲットやこれから数えるターゲット、ディストラクターに向くことを抑えることができ、指差を行わなかった場合よりも、行った場合において数え間違えが少ないと考えられる。

各実験条件において、画面に提示された点の数は 1 試行平均 30 であり、28, 29, 30, 31, 32 のいずれかから、ランダムな順序で提示した。また、ディストラクターの数は、いずれの試行においても 30 であった。

各試行において、点が画面上に提示される時間は、画面に提示されている点の数×400 ms であった。

指差なし条件では指を差さずに数えることを、指差あり条件では指を差しながら数えることを求めた。

実験参加者を、指差あり条件、指差なし条件のいずれかに、半数ずつ割り当てた。いずれの実験条件に割り当てられた実験参加者も、課題を 5 試行行った。

2.1.3 結果と考察

エラー数（数え間違えた試行数）について、性別（2）×指差の有無（2）の分散分析^{*1}を行った。その結果、指差の有無の主効果が有意傾向であり、指差あり条件において、指差なし条件よりも平均エラー数が少ない傾向がみられた（ $F(1, 36) = 3.34^{*2}$, $p < .10^{*3}$ ）。一方、性別の主効果^{*4}は見られなかった（ $F(1, 36) = 0.47$, $n.s.$ ）。また、交互作用^{*5}は見られなかった（ $F(1, 36) = 0.05$, $n.s.$ ）。結果を表 2、図 2 に示す。

表 2 点数え課題の平均エラー数とその標準偏差

	平均値	標準偏差
指差あり	1.80	1.33
指差なし	2.60	1.32

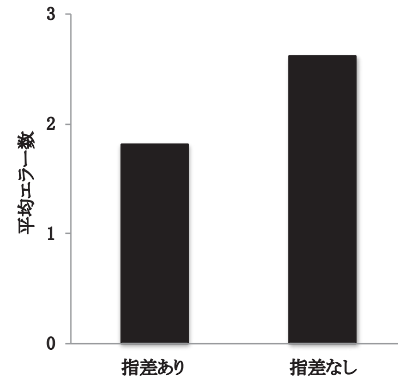


図 2 各条件の平均エラー数

以上の結果より、指差によってエラーが減少する傾向が示された。しかし、本実験の結果だけを持って、エラー率の減少が視線停留効果によるものと断定することはできない。例えば、指差することによって、すでに数えた位置の記憶が促進されるという効果によって、エラーが減るということも考えられる。したがって、今後、アイカメラによる視線計測を行うなど、さらに検討を重ねる必要がある。

2.2 実験 2（反応遅延の焦燥反応抑制効果）

2.2.1 目的

指差による反応遅延の焦燥反応抑制効果を検証するために、実験を行った。

2.2.2 方法

実験参加者 28 名の大学生（性別、年齢の記録なし）が実験に参加した。実験参加者は、指差を行う条件、行わない条件、強制的にタイムラグが挿入される条件のすべての条件で実験を行った。

実験課題 実験課題は、Task-switching 課題であった。Task-switching 課題は、衝動性の研究でしばしば用いら

*1 分散分析とは、観測データの変動（分散）を要因による分散と誤差による分散に分け、要因の効果を判断する統計手法。

*2 F 値は分散に基づき推定母平均の差を表す指標。値が大きいほど差があることを示す。

*3 p 値は推定母平均が同じである確率。一般に、0.05 以下で統計的に意味のある差があると判断し、0.1 以下で差がある傾向があると判断する。

*4 主効果とは、要因の効果のことである。

*5 交互作用とは、複数の要因がある場合に、1 方の要因の水準間の平均値差が、他方の要因の水準によって異なることである。



図3 Task-switching 課題（中央の文字がルール、左右の数字が選択肢）

れる課題である⁴⁾。Task-switching 課題とは、2つの異なるルールが与えられ、課題の途中でルールが切り替わるという課題である。本研究では、文字の大きさと値の大きさがそれぞれ異なる数字が画面に提示され、文字の大きい方を選択するというルールと、値の大きい方を選択するというルールが、課題の途中で切り替わるという条件を設定した。

実験参加者は、ディスプレイの中央に提示された文字が示す指示に従って、左右の数字のいずれかをキーボードのスペースキーを押して選択することが求められた。画面中央に表示される文字は、「値」もしくは「字」であり、「値」と表示された場合には、数字の値が大きい方を、「字」と表示された場合には、数字の文字が大きい方を選択することが求められた（図3）。

指差なし条件では、指を差さずに課題を行うことが、指差あり条件では、指示を示す文字（「値」もしくは「字」）および選択する数字を指差してからスペースキーを押すことが求められた。また、強制タイムラグ条件では、指示を示す文字と選択肢の数字が提示された直後から1.5秒間画面が赤くなり、スペースキーによる反応を受け付けなかった。

課題を行う際の実験条件の順序は、半数の実験参加者は指差あり条件から、もう半数の実験参加者は指差なし条件から行った。各実験参加者は、各条件とも36試行ずつ課題を行った。

2.2.3 結果と考察

エラー数（誤った選択肢を選択した回数）について、指差の有無に強制タイムラグ条件を加えた1要因3水準の分散分析を行った。その結果、主効果が有意であった（ $F(2, 48) = 4.13, p < .05$ ）。ライアン法による多重比較を行った結果、指差あり条件、および強制タイムラグ条件において、指差なし条件よりも有意に平均エラー数が少なかった（指差あり条件： $t(48) = 2.49, p < .05$ 、タイムラグ条件： $t(48) = 2.49, p < .05$ ）。結果を表3、図4に示す。

指差あり条件、強制タイムラグ条件におけるエラー低減効果が同程度であったことから、本実験課題において、

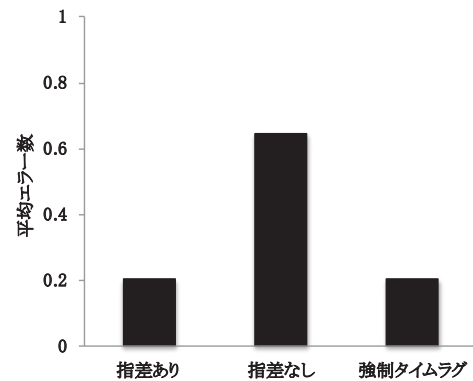


図4 各条件の平均エラー数

表3 Task-switching 課題の平均エラー数とその標準偏差

	平均値	標準偏差
指差あり	0.20	0.40
指差なし	0.64	0.89
強制タイムラグ	0.20	0.40

指差によるエラー防止効果は、タイムラグの挿入による焦燥反応の抑制効果と考えられる。

2.3 実験3（記憶強化効果の検証）

2.3.1 目的

喚呼による記憶強化効果を検証するために、実験を行った。

2.3.2 方法

実験参加者 36名の大学生（男性18名、女性18名、平均年齢21.0歳、標準偏差1.80）が実験に参加した。実験参加者は、喚呼を行う条件、行わない条件のいずれかに割り当てられた。

実験課題 実験課題は、N-back 課題であった。N-back 課題は、ワーキングメモリの研究でしばしば用いられる実験課題である⁵⁾。N-back 課題とは、繰り返し実験刺激（アルファベットや図形など）を提示し、ある時点で、N個前に提示されていた刺激は何であったかを答える課題である。本実験では、色のついた円を実験刺激として提示した。

実験参加者は、画面上部に提示される円の色と同じ色の円を、画面下部の5つの中から選択し、マウスでクリックする課題（選択課題）を10試行を行った。選択課題を行った直後に、現在提示されている円の1つ前の円の色を、マウスでクリックして選択すること（記憶課題）を求められた（図5）。次に、2つ前の円の色についても、同様にマウスでクリックして選択することを求められた。

喚呼なし条件では、声を出さずに選択反応課題を行うことが求められた。喚呼あり条件では、選択反応課題中に、選択した円の色を声に出してからクリックすること

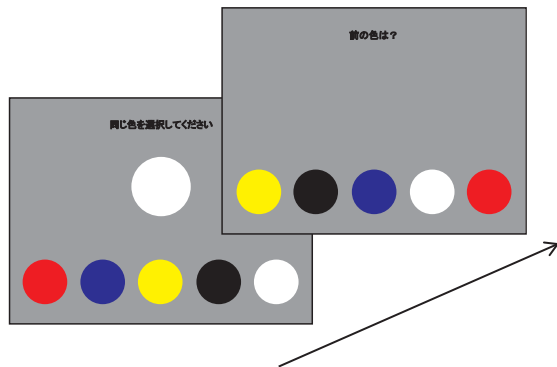


図5 N-back 課題（画面中央の円の色が選択すべき色，画面下部の円が選択肢）

が求められた。

各実験参加者は、喚呼なし条件、喚呼あり条件のいずれかに、半数ずつ割り当てられた。

2.3.3 結果と考察

記憶課題のエラー数について、性別（2）×喚呼の有無（2）の分散分析を行った。その結果、喚呼の有無の主効果が有意であり、喚呼あり条件において、喚呼なし条件よりも平均エラー数が少なかった（ $F(1, 32) = 4.38, p < .05$ ）。一方、性別の主効果は見られなかった（ $F(1, 32) = 0.05, n.s.$ ）。また、交互作用は見られなかった（ $F(1, 32) = 0.49, n.s.$ ）。

以上の結果より、喚呼によってエラーが減少する傾向が示された。したがって、喚呼による記憶の強化効果が支持された。結果を表4、図6に示す。

表4 N-back 課題の平均エラー数とその標準偏差

	平均値	標準偏差
喚呼あり	1.22	0.79
喚呼なし	1.72	0.56

2.4 実験4（エラー気づき効果の検証）

2.4.1 目的

文献³⁾では、指差と喚呼の併用が、視覚、聴覚などの動員により認知の精度を高めることを指摘している。指差による視覚面での効果は実験1で検討している。そこで、実験4では、喚呼による聴覚面での効果についてのみ検証を行った。

2.4.2 方法

実験参加者 78名の大学生（男性39名、女性39名、平均年齢20.9歳、標準偏差1.82）が実験に参加した。実験参加者は、喚呼を行う条件と喚呼を行わない条件で課題を行った。

実験課題 実験課題は、Go/no-go 課題であった。Go/no-go 課題は、衝動性の研究でしばしば用いられる実験課題であり⁶⁾、go 刺激が提示された場合には、反応す

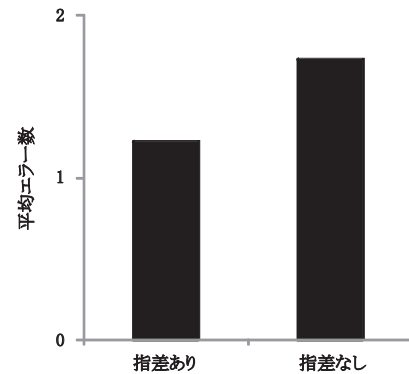


図6 各条件の平均エラー数

ることを、no-go 刺激が提示された場合には反応しないことを求められる課題である（図7）。no-go 刺激の出現頻度よりも go 刺激の出現頻度が高いため、no 刺激に対する反応を抑制することが難しくなる。本実験では、不満顔を go 刺激、笑顔を no-go 刺激として提示した。

実験参加者は、画面に笑顔が提示された場合は、反応しないことを、画面に不満顔が提示された場合には、キーボードのスペースキーを押して反応することを求められた。

本実験では、実験刺激の配列は6つのブロックに分かれていた。各ブロックは9つの go 刺激と1つの no-go 刺激から構成された。no-go 刺激が提示されるタイミングは、各ブロックの中でランダム化された。また、各ブロックの最初と最後の試行には、no-go 刺激は提示されなかった。したがって、no-go 刺激が連続して提示されることはなかった。

喚呼なし条件では、声を出さずに課題を行うことが求められた。喚呼あり条件では、不満顔が提示された場合には、「押す」と声を出しながらスペースキーを押すことを、笑顔が提示された場合には、「押さない」といいながらスペースキーを押すことが求められた。

半数の実験参加者は喚呼を行う条件から、もう半数の実験参加者は喚呼を行わない条件から行った。

2.4.3 結果と考察

エラー数（誤って no-go 刺激に反応した回数）について、性別（2）×喚呼の有無（2）の分散分析を行った。その結果、喚呼の主効果が有意であり、喚呼あり条件において、喚呼なし条件よりも平均エラー数が少なかった（ $F(1, 76) = 29.64, p < .001$ ）。一方、性別の主効果は見られなかった（ $F(1, 76) = 1.93, n.s.$ ）。また、交互作用は見られなかった（ $F(1, 76) = 0.62, n.s.$ ）。

以上の結果より、喚呼によってエラーが減少する傾向が示された。結果を表5、図8に示す。

この結果は、エラー気づき効果によるものと考えられるが、喚呼することにより、反応が遅延した結果である可能性もある。そこで、条件間の反応時間について分散

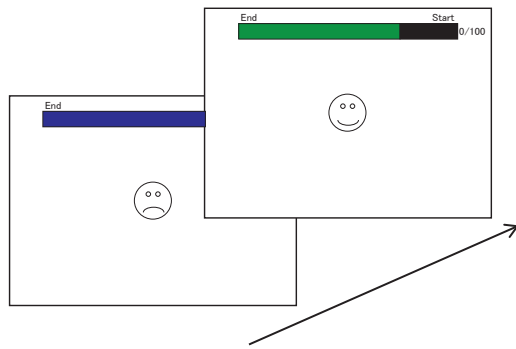


図7 Go/no-go課題（不満顔がgo刺激，笑顔がno-go刺激）

表5 Go/no-go課題の平均エラー数とその標準偏差

	平均値	標準偏差
喚呼あり	0.81	0.93
喚呼なし	1.68	1.21

分析を行った。その結果、主効果が有意であり ($F(1, 74) = 8.54, p < .001$)、喚呼あり条件において、喚呼なし条件よりも有意に反応時間が長かった（喚呼あり条件：468 ms、喚呼なし条件：329 ms）。反応遅延の焦燥反応抑制効果については、実験2において指差によるその効果を検証している。実験2では、指差あり条件と指差なし条件の反応時間の差は717 msであった。実験4において、喚呼あり条件と喚呼なし条件の反応時間の差は、139 msと、実験2と比べて小さいものであった。このことから、実験2におけるエラーの低減は、反応遅延の焦燥反応抑制効果だけでなく、エラー気づき効果が含まれるものと考えられる。

2.5 実験5（覚醒効果の検証）

2.5.1 目的

指差および喚呼による覚醒効果を検証するために、実験を行った。

2.5.2 方法

実験参加者 58名の大学生（男性30名、女性28名、平均年齢21.2歳、標準偏差2.16）が実験に参加した。実験参加者は、指差喚呼あり条件、指差喚呼なし条件のいずれかに割り当てられた。また、指差喚呼を行う条件では、自分のやり方で行う条件と、全力で行う条件を設定した。指差喚呼なし条件には22名、自分のやり方で指差喚呼を行う条件には23名、全力で指差喚呼を行う条件には13名が割り当てられた。

実験課題 実験課題は、ヴィジランス課題であった。ヴィジランス課題は、注意の持続の研究でしばしば用いられる課題である⁷⁾。めったに現れないターゲットをモニタリングしている際、覚醒水準を維持することは非常に困

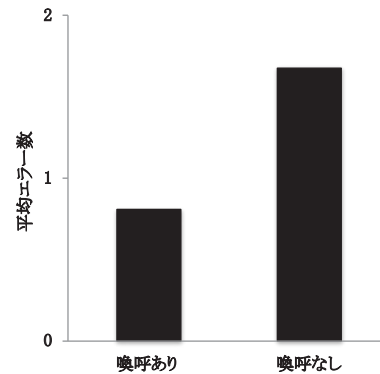


図8 各条件の平均エラー数

難である。したがって、指差および喚呼の覚醒維持効果を検証するのに適した課題であると言える。

本実験では、ターゲット刺激として「i」の文字を、フィラー刺激（ターゲットではない刺激）として「ii」の文字を用いた。（図9）。

実験参加者は、ディスプレイ中央に、「i」の文字が提示されたらキーボードのスペースキーを押して反応し、「ii」の文字が提示されたら無視することが求められた。各文字は、1秒間隔で2秒間提示された。ターゲット刺激である「i」は、各ブロックで30回提示された。また、フィラー刺激である「ii」は、平均15回（最小10回、最大20回）連続で提示された。実験参加者は各実験条件で2ブロック、実験課題を行った。各ブロックの実験時間は、30分であった。

指差喚呼なし条件では、指を差したり声を出したりせずに課題を行うことが求められた。また、自分のやり方で指差喚呼を行う条件では、実験参加者自身のやり方で、刺激に指を差し、声を出してから反応することが求められた。また、全力で指差喚呼を行う条件では、腕をまっすぐ伸ばし、大きな声を出して指差喚呼することが求められた。

2.5.3 結果と考察

エラー数（ターゲット刺激に反応できなかった数）について、指差喚呼なし条件に、指差喚呼のやり方が異なる2条件（自分のやり方、および全力条件）を加えた、1要因3水準の分散分析を行った。分析は、覚醒水準の低下が生じたと想定される、2ブロック目に対してのみ行った。その結果、主効果が有意傾向であった ($F(2, 55) = 2.76, p < .10$)。ライアン法による多重比較を行った結果、自分のペースで指差喚呼を行う条件において、全力で指差喚呼を行う条件よりも有意に平均エラー数が少なかった ($t(55) = 2.35, p < .05$)。結果を表6、図10に示す。

指差喚呼の有無による違いは見られなかった。しかし、過剰に指差喚呼を行うことで、却ってエラーを増加させる可能性が示された。この結果は、過度な指差喚呼によ

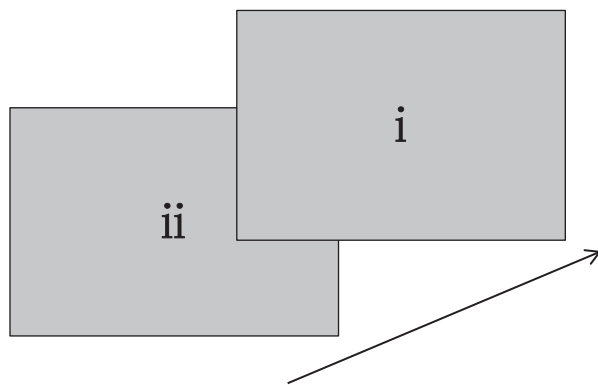


図9 ヴィジランス課題（「ii」がターゲット刺激、「i」がフィラー刺激）

表6 ヴィジランス課題の平均エラー数とその標準偏差

	平均値	標準偏差
指差喚呼あり (自分のやり方)	0.17	0.48
指差喚呼あり (全力)	1.08	1.54
指差喚呼なし	0.55	1.20

る疲労の結果と考えられる。

本研究では、指差喚呼の覚醒効果について、パフォーマンスの違いを比較することで、検証した。今後は、覚せい水準との関連が示されている生理指標などを用いて、さらなる検討を重ねる必要がある。

3. おわりに

本研究では、既存の指差喚呼に関する研究を整理し、その結果に基づいて、5つのエラー防止効果について実験的に検証を試みた。その結果、明確な結果が得られた効果もあれば、そうでないものもあった。それぞれのエラー防止効果について、さらにデータを蓄積する必要がある。また、今回検証した5つの効果以外にも、エラー防止効果がある可能性もある。今後、さらなる検証が必要である。

一方で、体系的にエラー防止効果の検証を試みたという点で、本研究は指差喚呼のエラー防止効果の解明に貢献した。エラー防止効果を明らかにすることで、現場作業員に対して、科学的な知見に基づいた指差喚呼の教育を行うことができる。また、こういった効果によってエ

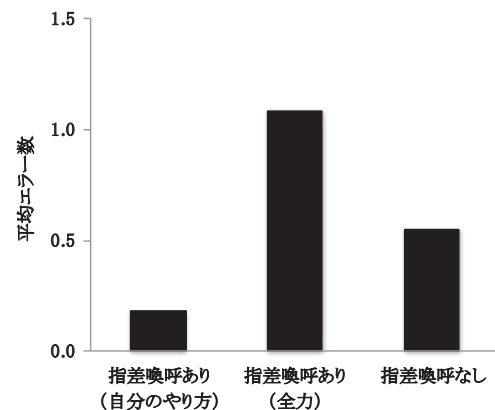


図10 各条件の平均エラー数

ラーが低減するのかを教育することで、現場作業員は、納得感を持って指差喚呼を行うことが可能になる。今後、本研究で得られた知見を指差喚呼の教育に活用できる。

文 献

- 1) 清宮栄一・池田敏久・富田芳美：複雑選択反応における作業方法と Performance との関係について―「指差・喚呼」の効果についての予備的検討―、鉄道労働科学, Vol.17, pp.289-295, 1965
- 2) 芳賀繁・赤塚肇・白戸宏明：「指差呼称」のエラー防止効果の室内実験による検証、産業・組織心理学研究, Vol.9, No.2, pp.107-114, 1996
- 3) 飯山雄次：指差唱呼の効用と応用：その科学的背景、安全, Vol.31, No.12, pp.28-33, 1980
- 4) Kenemans, J. L., Bekker, E. M., Lijffijt, M., Overtoom, C. C. E., Jonkman, L. M. and Verbaten, M. N., "Attention deficit and impulsivity: Selecting, shifting, and stopping," *International Journal of Psychophysiology*, Vol.58, No.1, pp.59-70, 2005.
- 5) Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R. and Bullmore, E., "N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies," *Human Brain Mapping*, Vol.25, No.1, pp.46-59, 2005.
- 6) Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T. and Yiend, J., "'Oops!': performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects," *Neuropsychologia*, Vol.35, No.6, pp.747-758, 1997.
- 7) Mackworth, J. F., *Vigilance and habituation: A neuropsychological approach*. Penguin Books Inc., Baltimore, MD, U.S.A, 1970.