

機関番号：32702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21651073

研究課題名（和文） 技能伝承のための知覚記憶・再現訓練の設計

研究課題名（英文） Design of Perceptual Memory/Reproduction Training for Passing Down Skills

研究代表者

道用 大介 (DOYO DAISUKE)

神奈川大学・経営学部・准教授

研究者番号：50445178

研究成果の概要（和文）：

本研究の成果次の通りである。体験した刺激をどれだけ正確に再現できるか判定する刺激再現システムを開発した。そのシステムを使って事前に覚えた刺激をどれほど正確に再現できるかの実験を行い、力の制御に関してはパワースケールという尺度を用いて、各個人の訓練の難しい点を見つけることに成功した。また、力の制御の挙動を分析することで各個人が独自に持つ基準値をもとに制御するという訓練方法を提案し、実作業でその効果を検証した。

研究成果の概要（英文）：

The results of this research are as follows. A stimulus reproduction system was developed which determines the degree to which an experienced stimulus can be reproduced. An experiment was conducted using this system to determine how accurately a stimulus learned beforehand could be reproduced. We succeeded in findings points where training was difficult for each individual by using a measure called the “power scale” relating to force control. A training method was proposed wherein control is achieved based on reference values unique to each individual by analyzing force control behavior, and the effectiveness of that method was verified in actual work.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	0	1,000,000
2010年度	500,000	0	500,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	150,000	2,150,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学, 社会システム工学・安全システム

キーワード：技能伝承, 訓練システム

1. 研究開始当初の背景

日本では人口の高齢化が進んでいる。この影響は、製造業にも及んでおり、2007年には日本の高度成長期を支えた団塊世代の多くの熟練技能者の退職がはじまった。そのため、多くの製造業が熟練技能者の技能をどのように企業に残していくかという「技能伝承」の問題に直面している。改正高年齢者雇

用安定法が施行されたことによって、企業は雇用期間の延長や、他企業の退職者の獲得によって熟練技能の流出を一時的に防いでいるが、このような対処方法は根本的な解決にはなっておらず、本質的な技能伝承対策が必要となっている。

技能は知的管理系技能と感覚運動系技能に分類される。知的管理系技能に関してはナ

レジマネジメントという形で様々な人間に分散している暗黙知を形式知として管理するという対処方法がとられている。しかし、感覚運動系技能に関しては運動に焦点を当てた Shmidt らの研究成果は実際の訓練設計に適用するにはあまりにも抽象的であり、また、暗黙知・身体知の抽出にはかなりの労力を要するため、生産現場では OJT のように「実際にやってみる」形式の伝承方法を脱していないのが実状である。

2. 研究の目的

1章で述べたような感覚運動系技能の問題解決に取り組むべく、これまでに個々の作業に関する技能伝承訓練に関する研究を行ってきた。しかし、個別対処では対処できる数に限界があり、基盤となる標準的な訓練方法の開発が必要であるとの思いから、視覚、聴覚、体性感覚などの作業を行なう上で必要である知覚の記憶・再現訓練というアプローチが必要と考えた。例えば、旋盤作業では製品の良し悪しは作業後に検査機器や目視によって検査を行なうが、熟練技能者は作業中に刃物がワークを切削する際に発生する音やハンドルを回す時の体性感覚（力覚）によって良い製品を作るプロセスを認知しており、製品ができた結果ではなく、製品を作っているプロセスの中で様々な知覚を使って作業を動的に判断し、良い製品を作るように体を反応させている。すなわち、作業というものは「知覚を使って動的に判断しながら遂行していくもの」であり、感覚運動系の作業において、作業の良し悪しは、良い製品を作る感覚（以後、成功感覚とよぶ）を知り、成功感覚を記憶し、再現できるかどうかで決まると考えられる。よって、技能伝承の根本的なアプローチとしては、良い製品を作る時に生じる成功感覚を効果的に記憶し再現できるように訓練する必要があるという着想に至った。以上のことから、本研究では感覚運動系技能を対象として、成功感覚を効果的に記憶・再現できる訓練方法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

様々な作業で力を制御するという技能が必要であるため、力の制御を対象として、知覚の刺激レベルと記憶・再現難度（以後、訓練難度とよぶ）の関係を明確化し、訓練難度に応じた訓練方法を提案する。

4. 研究成果

(1) 力の訓練難度について

様々な作業で力を制御するという技能が必要であるが、力の訓練難度は力の大きさによって異なり、力の大きさが大きくなるにつれて訓練難度が高くなるという知見を得た。

(図1)。

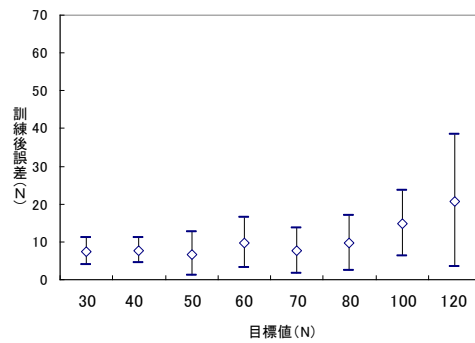


図1 力の大きさと訓練難度の関係

(2) パワースケールでみる訓練難度

① 内在尺度とパワースケールという概念の導入

被訓練者の力の感じ方を“弱い”、“普通”、“強い”という3つの反応語を用いて調査し、それを内在尺度とし、内在尺度を0~100の数値で表したものをパワースケールとする。パワースケールと内在尺度の関係は次の通りである。

- 0-30 区間 → “弱い”
- 30-35 区間 → “境界区間”
- 35-65 区間 → “普通”
- 65-70 区間 → “境界区間”
- 70-100 区間 → “強い”

② 被訓練者が訓練で覚える力をパワースケールに変換する方法

ある力 f が被訓練者にとって“弱い”、“普通”、“強い”のどの範囲に該当するか調べ、該当範囲の力の最小値を F_{\min} 、該当範囲の力の最大値を F_{\max} 、該当範囲のパワースケールの最大値を S_{\max} 、該当範囲のパワースケールの最小値を S_{\min} とし、パワースケール $S(f)$ を式(1)で算出する。

$$S(f) = \frac{f - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \times (S_{\max} - S_{\min}) + S_{\min}$$

..... 式1

式1は f という力が被訓練者の内在尺度のなかで相対的にどこに位置するかを表現している。

力の大きさを物理値ではなく、被訓練者のパワースケールに変換し、パワースケールと訓練難度の関係を分析した結果、下記のような知見を得た。

- ・ 30S 以下の“弱い”と感じる範囲では訓練難度が低く、目標値が変化しても訓練難度の変化は小さい。
- ・ 35~65S の“普通”と感じる力で訓練難度は高い。
- ・ 70S 以上の“強い”と感じる範囲では目

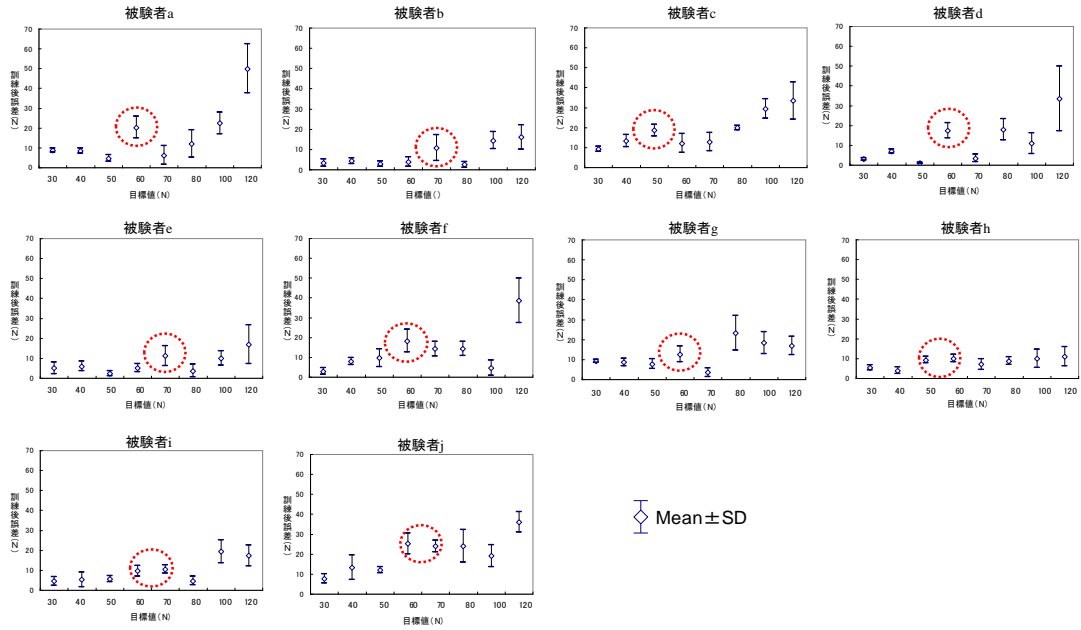


図2 パワースケールと訓練難度の関係

標値が大きくなるにつれて、訓練難度は高くなる傾向がある。

・目標値が 32S や 68S 付近場合、訓練難度は低い。

(3) 訓練方法の提案

パワースケールを用いた(2)の結果より、32, 68S のように被訓練者の感じ方が変わる境界付近は訓練難度が低い。この特性を利用して、訓練難度の低い”普通”，”強い”と感じる範囲で訓練効果を向上させる訓練方法を提案した。具体的には訓練難度の低い32, 68S の力を基準として意識させ、その基準からの差分として目標値を覚えるというものである(基準形成法)。モデル作業によって基準形成法の効果を検証した結果、50, 80S といった訓練難度の高い目標値では訓練効果が向上した(図3)。ただし、もともと訓練難度の低い目標値では基準形成法の効果は

認められなかった。

(4) 実作業での検証

基準形成法の有効性を実作業で検証するために、Eリング取付作業を対象作業として検証実験を行った。Eリングとは、ベアリングなどの部品をシャフトに対して回転可能な状態で固定するために多く使用されている止め具である。6mm サイズのEリングでは110Nの力を加えれば取付は完了するが、ある組立工場では力の制御ができないことに起因すると考えられる下記のような問題事象が発生している。

- 必要以上に大きな力を加えることでEリングがEリングホルダーから外れる
- 加えた力が110Nに達しないと、複数回押圧することになる。そのため、一度の押圧で取付が完了したときと比べて、作業時間が長くなり、作業時間のバラツキの原因となっている。

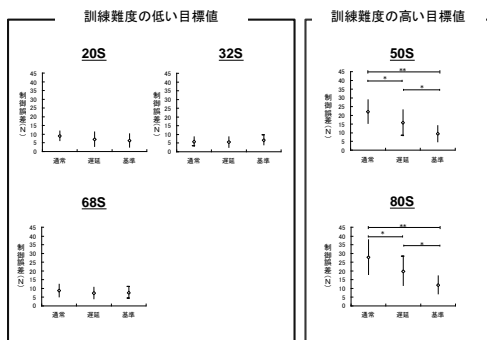


図3 提案した訓練方法の効果

対象とした組立工場では、作業を連続して体験すれば適切な作業ができるようになるということを前提として Off-JT でEリング取付作業を連続して行う訓練が実施されているが、上記の問題は解消されていない。尚、Eリング取付作業に必要な110Nの後述する全被験者のパワースケール値は80S前後の値であったことから、Eリング取付作業の訓練難度は高いと考えられる。

図4に対象とした組立工場で行われている現状訓練と新訓練(基準形成法)の訓練前と訓練後の制御誤差の平均値と標準偏差を示

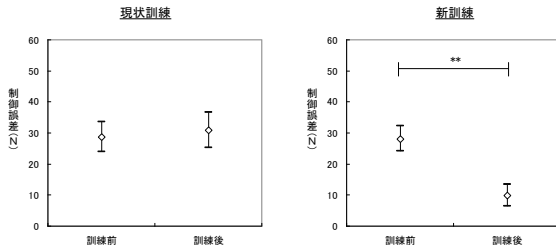


図4 実作業での検証

す（縦軸：制御誤差，横軸：訓練前後）。現状訓練グループは訓練後と訓練前の制御誤差に違いがみられず，作業を体験するだけでは力の制御技能を習得することはできなかった。それに対して，新訓練グループでは，訓練前と訓練後で制御誤差に有意差が認められたことから，提案した基準形成法の効果が実作業の一つであるEリング作業における力の制御においても有効であることが明らかになった。また，訓練後の作業におけるミス件数は現状訓練グループにおいて，飛散ミスが1件，不完全取付けが1件，2度押しが8件の合計10件（16.7%=10件/60回）であったのに対して，新訓練グループでは作業ミスは発生しなかった。この結果から力を適切に制御できたことによって，作業ミスも減少したといえる。

(5) 技能抽出・訓練設計プロセスの提案

生産現場での実践的な技能抽出・訓練設計プロセスを提案した。

Step1: 仕事の記述

Step1-1: 仕事の構造的整理

仕事の内容を構造的に整理するために「ものこと分析」(Nakamura 2003)を行なう。ものこと分析とは仕事を「始めのもの(素材)」、「終わりなもの(製品と残り)」、「手段のもの」、「変化のこと」という視点で整理する分析手法であり、製造業の改善活動で使用されている。

Step1-2: 作業条件と対象の明確化

次に「始めのもの」と「手段のもの」に着目して、「始めのもの」と「手段のもの」にどのような種類があるかを列挙する。実際の作業では使用する材料や道具の種類によって作業方法が異なることも多い。そのため、作業条件と対象を明確にするために、実際に対象とする「もの」の種類を決定する。

Step1-3: 品質の違いの明確化

「終わりなもの」に着目して、「終わりなもの」の状態を分類することによって、良品の定義、不良の種類を明らかにする。また、熟練者と未熟練者の「終わりなもの」の違い

を明らかにする。

Step2: 技能抽出

Step2-1: 作業者による変動要因の抽出

部品や材料（「始めのもの」）が製品（「終わりのもの」）となるまでの過程で手や道具（「手段のもの」）が「始めのもの」に様々な状態で接して、力などの何らかの刺激が加えられることによって「変化」が与えられる。「接する状態」と「刺激」が異なることで「変化」が異なり、「終わりのもの」の状態が異なる。すなわち、製品の良し悪しに関する直接的な変動要因は、

- 「手段のもの」と「始めのもの」の接する状態
- 「手段のもの」が「始めのもの」に与える刺激

の中に存在する。そこで、「変化のこと」の中で「手段のもの」と「始めのもの」がどのように接して、どのような刺激が与えられるのかに着目し、作業者による変動要因を抽出する。

作業者の姿勢や体の動かし方も変動要因と考えられるが、姿勢や体の動かし方は各個人の体格や状況によって動きやすさが異なるため、姿勢や体の動かし方だけを真似しようとしても、実際は筋肉の動きなどが微妙に異なり、全く同じ動きをすることは不可能である。よって、表面的には同じような動きをしても、「手段のもの」と「始めのもの」の間に同じ「変化」が起きるとも限らないため、作業者の姿勢や体の動かし方は変動要因とは考えないこととする。

Step2-2 仮説の設定

「始めのもの」がStep1-3で挙げた「終わりのもの」になるになるプロセスを考察し、品質の違いが生じる原因をStep2-1で挙げた変動要因である、「手段のもの」と「始めのもの」の接する状態、「手段のもの」が「始めのもの」に与える刺激という観点から考えて、仮説を設定する。

Step2-3: 仮説の検証と変動要因の適正範囲の決定

Step2-1で抽出した各変動要因に関して、熟練者の作業を定量化する。

また、Step2-2の仮説を検証するために、Step2-1で抽出した変動要因に関して実験を行って、適正範囲を明らかにする。熟練者は各変動要因の適正範囲の限界付近で作業を行っていることもあり、熟練者と同じ作業をしようとする真似をすると、わずかな違いで全く異なる結果となることもあるので、熟練者の作業が初心者にとって適正とも限らない。

Step3: 訓練設計

Step3-1: 訓練設備の選定

Step3-2で述べる訓練では自らの動作を適

切な動作に近づけていく。そのため、被訓練者に自らの動作をフィードバックすることが必要である。そのため、訓練で使用する設備に関しては、Step2-3 で決定した対象作業の各変動要因の適正範囲を「見える化」できる設備を準備することが望ましい。

Step3-2:訓練設計

Step2-3 で決定した対象作業の各変動要因の適正範囲を被訓練者に体験させる訓練を考える。運動が上達する過程には認知、定着、自動化の3つの段階があるとされている。

(Fitts & Posner 1967) 認知段階とは運動全体について理解するための段階、定着段階とはフィードバックを意識して運動をコントロールすることによって運動を洗練させていく段階、自動化段階とは運動が自動的にできるようになる段階である。すなわち、認知段階は知識の学習、定着段階は体を動かしながら体得する動作の訓練、自動化段階は動作の訓練や実際の作業を繰り返す段階であるといえる。

認知段階では、作業内容の理解や作業の変動要因によってどのような品質の違いが生じるかなどの説明を行うことが望ましい。定着段階では各変動要因の適正範囲を習得する運動学習となるが、学習項目がいくつもある場合は、運動の分割を考える必要がある。運動の分割という観点では、全習法と分習法がある。全習法は打球運動のような瞬間的な運動に適しているとされ、分習法は様々な要素が存在する運動に適しているとされている。製造業における作業は打球運動のような瞬間的な作業はほとんどないと考えられ、分習法の学習が効果的であると考えられる。そこで、Step2-3 で定義した変動要因の各適正範囲をそれぞれ分けて体験できるような訓練設計が望ましい。

自動化段階では、学習したことが実行できるように繰り返し、練習することが望ましい。

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4件)

- ① Daisuke Doyo, Internal Aspects of the Skill Transfer of Manual Assembly Work, American Journal of Business Education, 査読有, Vol. 2, No.5,2009, 65-73
- ② Daisuke Doyo, Atsushi Ohara, Keisuke Shida, Toshiyuki Matsumoto, Kazuo Ootomo, A Method for Extracting Sensory Motor Skills and Designing a Training System, American Journal of Business

Education, 査読有, Vol. 2, No 8,2009,15-25

- ③ 道用大介、三ツ井里奈、山崎友彰、金沢孝、力の大きさと訓練難度の関係に関する基礎研究—手組立作業の力の制御訓練への応用を目指して—, 日本設備管理学会誌, 査読有, Vol.22 No.1,2010,35-41
- ④ 山崎友彰、道用大介、松本俊之、金沢孝、効果的な力の制御訓練方法の提案, 日本設備管理学会誌, 査読有, Vol.23, No.4,2012,192-199

[学会発表] (計3件)

- ① Takashi Kawashimo, Noriaki Sato, Daisuke Doyo, Michiko Anse, Tsutomu Tabe, A Skill Transfer Method for Manual Machine Tool Operation Utilizing Cutting Sound, 13th International Conference on Human-Computer Interaction,2009, San Diego
- ② Daisuke Doyo, Internal Aspects of the Relationship between Pressing Force and Training Difficulty, 13th International Conference on Human-Computer Interaction,2009, San Diego
- ③ 山崎友彰、道用大介、松本俊之、金沢孝、力の制御訓練の効果的な訓練方法の提案, 日本設備管理学会,2011,東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

道用 大介 (DOYO DAISUKE)
神奈川大学・経営学部・准教授
研究者番号：50445178

(2) 研究分担者

安瀬 美知子 (ANSE MICHIKO)
青山学院大学・理工学部・助手
研究者番号：00082850

(3) 連携研究者

松本 俊之 (MATSUMOTO TOSHIYUKI)
青山学院大学・理工学部・教授
研究者番号：20365026