機械操作における技量の抽出に関する研究*

(第2報, 操作時の認知能力の解明および操作支援への応用手法の提案)

藤田 光伸^{*1}, 鎌田 実^{*2}, 宮田 圭介^{*3}A Study on Skill Extraction in the Machine Operation
(2nd Report, Clarification of Cognition Ability in Machine Operation
and a Proposal of Its Application Theory to Assist Operators)Mitsunobu FUJITA^{*4}, Minoru KAMATA and Keisuke MIYATA^{*4}Department of Mechanical Engineering Synthesis, The University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

In this paper, Clarification of cognition skill in actual machine operation is tried, and a theory to realize effective assist on the basis of the result is proposed. First, it is supposed what cognitive process operators operate machines through, by questionnaires to high skilled operators. Next, cognition skill of a subject in a certain work is clarified with a value named "Information Dependence", using a simulator system that is constructed on the basis of the questionnaire's replies. Finally, a theory to assist machine operators effectively is proposed on the basis of these studies on cognition skill, and the effect of the theory is validated. Also, the possibility to generalize the theory is shown by applying it to other works.

Key Words: Human Interface, Human Engineering, Recognition, Skill, Operation, Assist

1. はじめに

人間の作業もしくは人間が機械を操作することで
行っている作業については, 人間そのものの非力さ
や動作の不安定さがあるために, 人間の要素を無く
そうとする機械による作業の自動化という方向での
研究・開発が多数行われており, 現代の我々の生活
や生産活動のクオリティの向上に多大な貢献をして
いる。だが, このような自動化が可能となっている
ものは単純な動作もしくは定型作業を行う場合に限
られており, 複雑な動作や不定形な作業においては
自動化が困難であるために, 人間による操作もしく
は人間による作業が必須となっている。

このような背景から, さまざまな産業, 特に製造
業といった産業においては熟練技能というものが確
立してきた。そしてそのような熟練技能を持つ熟練
者によって, それらの産業は支えられてきたといっ
ても過言ではない。しかしながら, 近年の労働価値
観の変化や出生率の低下, そして熟練者の高齢化に
より, 熟練技能が伝承せず熟練者が減少している
という問題が生じている。

それらの問題に対して, これまでは明文化できな
かった熟練技能を明らかにしていこうとする(技能
の技術化)研究が盛んに行われてきているのも当然
の動きといえる。具体的な例としては, 加工機械の
自動化⁽²⁾⁽³⁾やプラント運転員のモデル化⁽⁴⁾, 自動車
ドライバの運転モデル⁽⁵⁾などがあり, またその他さ
まざまな熟練技能に関する議論⁽⁶⁾⁽⁷⁾が行われている。
これらは, 作業の手順を決めるという段取り能力の
部分におけるモデル化を行い設計や自動化に役立て
ようとする研究, もしくは実際の作業の部分に関し
てあくまで機械で人間の行動を再現できれば良いと
いう考えによって行われた研究である。どんなに優
れた段取り能力があっても, 実際の作業時に優れた
作業(操作)能力がなければ, それに見合った段取
りしか組むことができず, またどれだけ研究が進み
科学技術が発展しても, 全ての熟練技能の自動化は
困難であると考えられる。つまり, 熟練者が実際に
作業を行っている際にどのようなことを感じ取り,
また実際に行動や操作を行う際にはどのような過程
をたどって行動や操作を行うに至っているかとい
うことも熟練技能の重要な要素のひとつであるにも
関わらず, 認知心理学の分野において定性的な議論が
行われている程度で, 実機械に応用できるような定
量的な議論はこれまで行われていない。

本研究では技能・技術を含めた機械操作に関わる
能力をまとめたものを技量といい, また以上よう

* 原稿受付 2001年7月5日。

^{*1} 正員, 東京大学大学院(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)。^{*2} 正員, 東京大学大学院工学系研究科。^{*3} 正員, コマツ・システム開発センタ(〒210-0818 川崎市川崎区中瀬3-20-1)。

E-mail: mitsu@sl.t.u-tokyo.ac.jp

な背景から、機械操作熟練者が実際に機械を操作して作業を行う際の技量の解明・明確化を目的としている⁽¹⁾。その中で本報では、実作業時の作業能力を構成する認知・判断・操作という各能力の中で、主に認知能力に関する操作者の状態解明を試み、それを操作者に対する操作支援手法へと応用することの可能性を探ることを、不定形作業の代表とも言える建設現場において多頻度で使用される油圧ショベルの操作を対象として試みる。このような操作支援が可能となれば、熟練者による熟練者を越えた作業能力の達成、および未熟者による熟練者なみの作業能力の達成が期待でき、作業パフォーマンスの向上に多大な貢献が行われると考えることができる。

2. 認知状態解明と操作支援手法への応用

本章では、油圧ショベルの特定の作業における操作者の認知状態の解明を試み、その結果を用いて効果的な操作支援手法へと応用することを試みる。

ここでは、操作者に与える情報をさまざまに変化させることを容易に行うことができるという点で実機に対して有利なシミュレータを利用する。まずは熟練操作者に対して実作業に関するアンケートを行い、油圧ショベル操作における技能の解明およびそれに基づいた作業内容の考案を行う。そしてシミュレータを用いて操作者の認知状態の解明を試み、その結果と熟練者へのアンケート回答とが同等な傾向を示すことが確認されたら、それを基にした効果的な操作支援への応用手法の提案を行う。

Fig. 1 Work that operator avoids the obstacle in water

情報の認知状態の解明については、前報⁽¹⁾における視覚情報依存度を聴覚や力覚の情報へも拡張した情報依存度をもって認知状態を表す。

2.1 熟練者アンケートと作業内容の決定

まず、経験年数が15,25,30年の熟練男性操作者3名(年齢は60,46,51歳)に対して油圧ショベルでの実際の作業に関するアンケートを行った。アンケート内容は次のようになっている。

- ①油圧ショベルでの作業において、作業を行いつらいのはどのような作業か。
- ②そのような場合にどのように対処しているか。
- ③油圧ショベルによる掘削作業時における各情報の重要度をどう考えているか。

また、その結果として得られた主要な回答を表1に示す。

次節以降に行う情報依存度⁽¹⁾による認知状態の抽出の際には、作業情報を変化させることによる成績の変化によって評価を行う。この場合、できるだけ多くの作業情報を必要とし、且つ作業の難易度が高い方が成績変動が表れやすく、そのような作業を実験における作業内容とすることが望ましい。アンケートからは、深掘りや川掘りという作業中にバケットが見えない作業においてバケットと他の部分との接触を知るということが、最も多様な知覚能力を必要とし、且つ上手い下手の差(成績の良し悪し)が現れやすいという結果が得られている。そこで、水中の障害物を避けてバケットを底部に接触させるという作業内容(図1)を、シミュレータを用いた実験における作業内容とすることとした。障害物を避ける際には障害物との接触を感じとらなければならないため、この作業は接触を知覚する能力を必要とする作業であると言える。また作業する対象であるバケットが見えないという点で、深掘り作業や川掘り作業といった実作業にも対応している。

また使用する油圧ショベルのシミュレータの作成に際し、熟練者アンケートによって作業能力への影響が大きいという結論が得られた視覚、聴覚、力覚、および体性感覚への情報は、特に現実に忠実に再現

Table 1 Replies of questionnaires.

	質問①	質問②	質問③
主な回答	<ul style="list-style-type: none"> ・地中の障害物を避けての掘削 ・川底の掘削 ・深い場所の掘削 ・雨などによる視界の悪化 	<ul style="list-style-type: none"> ・誘導員を置いて誘導してもらい、かつ動作は少しずつ ・現在位置はブームやアームなどの見えている部分の中で目印となるものの距離や長さで知る。 ・接触は作業状況の変化(エンジン音変化、接触音、アームなどが動く速度の変化、レバーへの反力の変化)で知る ・掘っている土の量は見えなければ分からない 	<ul style="list-style-type: none"> ・まわりの障害物や作業者の安全性などを考慮に入れず、純粋に作業効率のみを考えた場合には、動作部分の視覚情報が最も重要であり、およびそこから発生する音やエンジン音といった聴覚情報がその次に重要。そして体性感覚へ影響を及ぼす揺れや振動は一切無い方がよい。
まとめ等	見えない状態が、作業を行いつらいと感じる主な状態であることが分かる。	接触についての判断材料となる情報が最も多く、更に、口頭アンケートから、そのような見えない状態での接触(川底、深い部分の底部、地中の配管などの障害物など)を感じ取ることができるかどうかというところに、非常に差が表れやすいという意見が多かった。(視覚情報が非常に重要で、その他はやや低い)	障害物や作業者の安全性も考慮に入れた場合にはあらゆるものが見える、聞こえることが重要。体性感覚へ影響を及ぼす揺れや振動については同様に一切無い方がよい。

させる必要があり、それを考慮に入れた上でシミュレータを作成することとした。

2.2 油圧ショベルシミュレータによる実験

油圧ショベルのシミュレータを作成する際に、本実験での目的に必要な条件を満たしている必要がある。つまり前節における熟練者アンケートの結果から、対象となる作業において作業成績に影響があると考えられる情報（前方視覚情報[視覚]、エンジン音の回転数変化[聴覚]、エンジン振動・車体揺れ[体性感覚]、レバーへの油圧反力[力覚]）については、現実に忠実に再現する必要がある。

また油圧ショベルのシミュレータ装置に完成度の高いものが存在しないことの第一の理由に掘削の現象のモデル化が困難であることが挙げられるが、今回の実験での作業内容は掘削を必要としないものを対象としたため、本実験の用途に対しては現実の再現度が非常に高いシミュレータ装置の製作が可能となったと考えられる。

図2に、本実験で用いたシミュレータ装置のシステム図および表示画面を示す。

Microsoft DirectX7.0により作成した3次元グラフィック画面が、プロジェクタを介して操作者前方のスクリーンに投影され、操作者はその画面を見ながら操作を行う。操作レバーはMicrosoft Side-Winder ForceFeedback Pro および ForceFeedback 2 を用いて油圧ショベルの操作系を作成し、レバーへの油圧反力の変化についても現実に基づいて再現した。エンジン音は実際の油圧ショベルのエンジン音をサンプリングし使用した。また、負荷変化によるエンジン回転数の変化は、再生周波数の変化により再現した。揺れ・振動は電動6軸モーション(三菱プレジジョン製:MMS-612E2/500)を使用して再現した。車体は重量3500kgの油圧ショベルをモデルとした。

次に、作業内容については以下のような内容とした。図3に示すように水面下には一面に障害物が存在し、ある一箇所にのみ直径2mの円形穴が水底部にまで続いている。穴の位置は試行毎にランダムに変化する。障害物は一定以上の力がかかると破損してしまい、破損させていた時間の長さで成績を評価する。操作者はこの障害物を破損しないように、且つできるだけ早くバケットを水底部に接触させることを目的とする。操作者は穴の位置を探るために、バケットを水中の障害物に接触させて障害物の有無を調べていくことになる。その際に、バケットを一定以上の力で障害物に対して押しつけると障害物が破損したことになる。穴を探し始めてから障害物にあいた穴の底部にバケットが接触するまでを1回の試行とする。そして1回の試行に費やした時間（経過時間）と、障害物を破壊していた時間（破壊

時間）を記録した。また通常の試行（基本条件）の他に、各情報への情報依存度を調べるために、1)アーム、ブーム、アームとブーム両方をなくす（見えなくする）（バケットは障害物との接触時には水面下にあり見えないため対象としない）[作業に係る視覚情報の消去]、2)エンジン回転数の変化をなくす[作業に係る聴覚情報の消去]、3)レバーへの油圧反力をなくす[作業に係る力覚情報の消去]、4)揺れ・振動をなくす[作業に係る体性感覚情報の消去]、という条件およびそれぞれを組み合わせた条件において実験を行った。各条件において30回の試行を1セットの実験とし、その1セットにおける平均値をもって考察を行った。基本条件での実験は最初と最後に1セットずつ行った。

被験者は経験年数4年の男性操作者（26歳）1名を対象とした。ただし、シミュレータに十分に熟練してもらうという意味で、特に接触を知覚する能力については十分に慣れるまで、事前にシミュレータ装置による練習を行ってもらった。これにより、被験者はバケットと障害物の接触を知覚する能力について十分に熟練していることになり、これ以上は繰り返し試行を行うだけでは上達しないと考えられることができる。また、バケットと障害物との接触を知覚する能力のみを解明するという目的のため、手順（段取り）の違いによる成績の変化を排除しなければならず、穴を探す際には最初から最後まで全く同じ手順、経路をとってもらった。

Fig. 2 Simulator System of hydraulic excavator and the visual scene

Fig. 3 Arrangement of obstacle in water

2.3 認知状態の抽出

まず、ここでは操作者のバケットの障害物との接触の知覚に関する成績を表す値として、破壊時間を経過時間で除した破壊時間割合（＝破壊時間÷経過時間）を用いる。ここで破壊時間ではなく破壊時間割合を用いるのは、各試行においては穴の位置がランダムに変化し、その結果、各セットにおいて30回の試行の平均をとっているとはいえ、必ずしも障害物との接触を知覚する機会数が同じとはならないために、破壊時間だけを比較したのでは正当な評価ができないからである。そこで、障害物との接触を知覚する機会数と比例すると考えられる経過時間で破壊時間を除することで、障害物との接触を知覚する機会の中で障害物の破壊を発生させてしまった割合を表す破壊時間割合という値を得ることができると考え、この値をもってバケットの障害物との接触の知覚に関する能力の成績を表すと考えた。この値は小さいほど成績が良いことを表す。

各条件において取得された経過時間と破壊時間割合を図4に示す。これによると、最初と最後に行った基本条件での実験における成績は、最初に比べて最後の実験における経過時間は短縮されていることが分かる。このことは、この実験条件では自由度が非常に大きいため試行中の作業経路や移動速度が一定ではなく、その点で上達が生じてしまっていることを表していると考えられる。しかしながら破壊時間割合については、基本条件以外の条件では大きく異なった値をとっているにも関わらず、最初と最後の基本条件における値は同等なままである。被験者は障害物との接触の知覚に関しては十分に熟練しており同条件では成績は変化しないから、破壊時間割合が操作者のバケットと障害物の接触の知覚に関する成績を表しているということの正当性が確認されたと言える。

そこで、各条件における成績の基本条件からの変化を調べ、各情報への情報依存度を求めた。文献⁽¹⁾より、特定の作業におけるある操作者について特定の情報を無くした場合の成績低下率の大きさが、その操作者にとってのその情報の重要度（操作者のその情報への情報依存度）に比例すると考えることができる（式1）。つまりその情報をなくした場合に成績が低下すればするほど、その情報は操作者にとって重要であると言える。

$$C(i) = AD_i = A(R(i)/R(\text{Basic}) - 1) \quad (1)$$

$C(i)$: 情報 i への情報依存度, A : 定数, D_i : 成績低下率, $R(i)$: 情報 i をなくした場合の成績, $R(\text{Basic})$: 基本条件における成績 (初期成績と最終成績の平均)

定数 A は視覚, 聴覚, 力覚, 体性感覚それぞれの情報を単独でなくした場合に得られる情報依存度

Fig. 4 Elapsed time and failure time rate in each condition

Fig. 5 Information dependence on each information

の中でプラスのものの和が1になるような値を選択した。これにより、この値は操作者が作業のために知覚する有用な情報全てに対する、ある情報の重要度の割合を表すこととした。

各条件における成績変化から得られた各情報に対する情報依存度の関係を図5に示す。この図より、本作業における被験者の場合には、単一情報のみをなくした場合に得られる情報依存度の和が、複数情報をなくした場合に得られる情報依存度とほぼ同じであること、つまり各感覚に対する情報への依存度は独立に成績へと影響していることが分かる。また、本実験の作業における被験者の接触を知覚する能力は、アームやブームという視覚情報に対して最も依存しており、次にレバーへの油圧反力という力覚情報、そしてエンジン回転数の変化という聴覚への情報という順で依存度が低くなっていくことが分かる。そして、揺れや振動といった体性感覚への情報は成績に悪影響を及ぼすマイナスの依存度を示していると言える。これらの結果を、第2.1節における熟練操作者へのアンケート結果（表1）へと照らし合わせると、1）視覚情報が最も重要な役割を果たしている、2）視覚ほどではないが、

聴覚情報および力覚情報についても成績に対して重要な情報となっている。3) 揺れや振動は成績に対して悪影響を及ぼしている、という点からも熟練操作者の回答と非常によく一致している。つまり、バケットと障害物との接触を知覚する作業においては、本実験における被験者の情報認知状態が熟練者による実作業時の認知状態と非常によく整合していると言えることができる。

2.4 支援手法への応用

ここでは、本実験における被験者に対していくつかの操作支援を行った際の効果を調べ、その結果を前節までの結果と対応させることで、効果的な操作支援方法の導出手法へと展開する可能性を探る。

本実験における被験者の各情報への情報依存度は図5のような関係であることが前節において判明しており、このことから、操作者への支援手法に関する以下の2とおりの仮説を立てることができる。

仮説1) 視覚が最も情報認知に優れているので、他の情報も視覚情報へと変換して与えれば、より操作成績が向上する。

仮説2) 十分に活用していない聴覚や力覚という知覚能力も、視覚ほどにうまく利用できれば、よりよい操作成績が得られる。

仮説1は最も優れた感覚器への情報の集中という考え方であり、仮説2は逆に情報の分散という考え方であると言える。

本実験における作業内容での被験者に対して、どちらの仮説が当てはまるのかを検証するために、次のような条件において同様な試行を行い、作業成績への効果を比較した。

Fig. 6 Visualization of auditory and force information

Fig. 7 Exaggeration of auditory (a) and force (b) information

条件1) 操作者の注視点付近に聴・力覚情報を可視化した情報として表示する。具体的には、エンジン回転数計やレバーの反力計を、できる限り操作者に分かりやすい形で表示する(図6)。
条件2) バケットと障害物の接触時に生じるエンジン回転数やレバー反力の変化を、操作者が知覚しやすいように誇張して与える(図7)。

これらは、表示計に関しては文献⁽⁸⁾により、最も直感的に分かりやすいと考えられる形態を選択し、情報の誇張については現実感として違和感がない範囲内でできる限り誇張した。つまり、これらはそれぞれ単体の情報提示機器としては非常に有効なものになっていると言えることができる。

各条件において達成された成績を図8に示す。まず、聴・力覚情報の可視化による操作支援では基本条件に対して成績はあまり良化していない。これには以下の理由が考えられる。

- ・人間の視点は同時には複数の場所を注視することができず、且つ対象作業が瞬間的作業である。
- ・本作業においては、支援を行わない状態であってもアームやブームの動きが見えやすく、バケットと障害物の接触を知覚するという目的においては、エンジン回転数計やレバーの反力計と同等の有用さをもった情報を操作者は既に得ることができていた。

すなわち、本作業のような瞬間時の知覚を要する作業において既に十分な視覚情報が与えられている場合には、その他の視覚情報による支援は有効ではない、つまり作業成績は最も有効な視覚情報に依存することが予想される。しかしながら瞬間時の作業ではなく、連続的・並列的処理を必要とする作業の場合には、作業中の注視点の移動が可能であるから、複数の視覚情報の提示が有効であると考えられる。

次に、聴・力覚情報の誇張による操作支援では、支援しない場合よりも非常に良い成績を残している。つまりこのことは、聴・力覚情報も情報の与え方次第では視覚情報なみに有効利用できる可能性があり、またそれぞれの感覚器は他の感覚器における情報取得状態とは独立に情報を取得・利用できる可能性が

Fig. 8 Results in each assist condition

あることを示している。

つまり、本作業のような瞬間時の知覚を要する作業成績においては、十分に有効利用されていない感覚器に対してより有用な情報を与えることが非常に有効な支援手法となる可能性が高いとすることができる。また瞬間時の作業だけではなく、連続的・並列的な認知を必要とする作業においても有効な、汎用性の高い手法となることが期待できる。

3. 別作業での操作支援手法への応用

前章において、油圧ショベルにおける見えない位置でのバケットと障害物の接触を知覚する能力の抽出を行い、それを基にした操作支援手法への応用についての議論を行った。しかしながら前章での作業は、視覚情報や聴覚情報など十分な情報が与えられるという特定の状況であり、また接触の知覚という瞬間的な知覚のみを必要とする作業であるために、その他の作業への応用が可能であるかどうかが不明である。そこで本章においては、前章における議論をいくつかの他の状況に適用し、前章での手法・考察の汎用可能性を検証する。

3.1 十分な視覚情報が得られない作業

前章での実験条件では、アームやブームが操作者に対して垂直方向へ移動するので、操作者はその動きが非常に見えやすいという状況で作業を行うことが可能であり、実際に被験者は主に視覚情報を基にしてバケットと障害物の接触を知覚していた。そして、そのような状況下における効果的な支援手法の提案として、有効利用されていない聴覚や力覚という感覚器に対する情報の提示が有用である可能性があるということを示した。

しかしながら、操作者が得ることができる情報が前章における実験と異なる場合、例えば視覚による十分な情報を得ることができない場合にも、そのような操作支援に関する考え方が適用できるのかどうかは不明である。そこで、本節では前章と同様のフィールドにおいて、図9のような円形に溝が掘ってある障害物を水中に設置し、1箇所存在するへこみ部分を旋回およびアームの動きだけで探すことが目的である作業について実験を行うこととした。

被験者は前章における実験と同じ操作者による。目的を達成するまでを1試行とし、ひとつの条件について30回の試行を行う(1セット)。へこみ部分の位置は試行毎にランダムに変化する。基本条件の他に、視・聴・力覚、体性感覚などの情報をなくした条件についての成績変化を調査した。各試行において、へこみ部分を探す手順、経路は、最初から最後まで全く同じ方法で行ってもらった。

Fig. 9 Work that operator avoids the obstacle in water

前章における実験条件では、バケットと障害物の接触は垂直方向であったためにアームおよびブームの動きも垂直方向であったが、本節における作業では、操作者から見て遠近方向の接触を知覚するという作業となり、アームの動きも遠近方向のみとなる。

ここで本作業に関して実作業の例を挙げると、建設機械の一種であるクレーンにおいて吊り荷の揺れを止めるという作業では操作者から見た左右方向の揺れよりも遠近方向の揺れを止めることの方が難しく、それは遠近方向の方が揺れの状態が見えづらいためである⁹⁾。つまり操作者にとって遠近方向の動きは非常に見えづらいということが言えるので、本実験条件によって作業を行えば、視覚情報への依存度が低い作業状況における操作者の認知状態およびそれによる効果的な支援手法への応用についての考察が可能となると考えた。

実際に、本実験条件における被験者の各条件における成績は図10のようになり、それによる各情報への情報依存度は図11に示すようになった。このことから、本実験条件における作業において本被験者の視覚情報への依存度が低いということが分かる。具体的には聴覚情報への依存度が最も高く、次に視覚情報、力覚情報への依存度はほぼゼロであり、揺れ・振動に関しては前章と同様にマイナスの依存度を示している。前章の考察によれば、この場合には前章とは異なり視覚情報による支援は非常に効果的であることが期待できる。

よって前章と同様に操作支援を行った場合の成績変化を調べた。視覚に対して行う支援は、アームの動きが分かるアーム角度計およびエンジン回転数計の表示によった。聴・力覚に対する支援は、前章と同様なエンジン回転数変化およびレバー反力変化の誇張を行った。

結果を図12に示す。この図より、聴覚や力覚への支援も成績向上に対するある程度の効果が認められるが、視覚への支援を行った場合の成績向上が、特に良い結果を示していることが分かる。このことにより、十分な情報が与えられていない感覚器への情報の支援が非常に有効であるという前章における考察が正当である可能性を確認することができた。

Fig. 10 Elapsed time and failure time rate in each condition

Fig. 11 Information dependence on each information

Fig. 12 Results in each assist condition

またここまでの結果では、視覚による情報が作業成績に最も影響が大きい、これは視覚情報という形による情報提示が最も有効となりやすいこと、つまり分かりやすい状態で操作者に与えやすいことを示していると考えられ、視覚情報が常に最も優れているということを表しているのではない。すなわち、聴覚や力覚においても有効な形で情報を操作者に与えることができれば、視覚並みに作業成績に対して貢献ができるのではないかと期待できる。

3.2 同時に複数の対象への注意が必要な作業

前節までの実験条件は、バケットと障害物の接触を知覚するという単一の作業についての操作者の認知状態を対象として、それに基づいた操作支援手法への応用についての考察を行ったものである。しか

しながら、油圧ショベルを用いた現実の作業を考えると、他の事に関する情報、例えば安全に関する情報に注意しながら実際の作業を進めるなどといった同時に複数の対象に対して意識を向けながら作業を行うことが多い。そこで本節では、そのような同時に複数の対象に対して意識を向ける必要のある作業における操作者への操作支援手法についての考察を行う。

まずは本節において想定する現実の状況について説明する。現実の油圧ショベルを用いる作業の中に、歩行者などが通行する道路において配管作業などを行うという状況が考えられる。この場合、全面通行止めにする事ができれば問題はないが、必ずしもそれができるとは限らず、その場合には歩行者などが通行したい時には作業を一旦停止し、その間に歩行者に通行してもらうことになる。その際、近くにいる監視員の指示（旗を振る、声で知らせる等）によって油圧ショベルの操作者は歩行者の存在を知らされることになる。これにより作業中に操作者はできるだけ作業に集中できるようになっており、これも一種の支援と言うことができる。しかしながら、操作者には監視員の姿が常に見えやすい場所にあるわけではなく、また必ずしも声が聞こえやすいというわけではないので、作業の他に監視員に対しても常に注意を向けていなければならず、このことが少なからず作業の効率を悪化させている可能性があると考えられる。

本節ではこのような現実の状況に対応したシミュレータによる作業を対象とし、前節までの考察を基にした、より作業効率の高い支援手法についての考察を行う。

まず作業内容であるが、作業中に十分な視覚情報を得ることができる場合と、視覚情報が十分に得ることができない場合について考える。つまり、前者は第2章における作業内容（作業A）、そして後者は第3.1節での作業内容（作業B）を対象とする。そしてそれぞれの作業について歩行者の接近を知らせる際に、注視点近くに警告ランプを点灯させるという視覚への支援（L-Assist）と、聞きとりやすい警告音を鳴らすという聴覚への支援（S-Assist）という2種類の支援方法、および監視員の旗に対応させる意味で注視点から離れた位置に警告ランプを点灯させる（B-Assist）という計3種類の支援手法を用い、それぞれの条件における成績を比較することにする。被験者は前節までと同一人物とし、基本条件の場合のみについて考える。そしてその基本条件について、警告ランプの点灯中もしくは警告音の発生中には操作を一時停止しなければならないという条件を付加する。警告発生中の時間は経過時間には含めないが、作業中の主に移動速度に関して途中

Fig. 13 Results in each assist condition

で停止することになる。つまり作業経路がこれまでの作業と異なるため、前節までの結果として得られた成績との比較は行わず、ここでの各操作支援方法における成績のみを比較する。

以上の条件で行った実験結果を図 13 に示す。これによると、作業 A の場合には警告音の方がランプによる支援よりも効果的であり、反対に作業 B の場合にはランプによる支援の方が警告音による支援よりも効果的であることが分かる。また、効果的な方の操作支援を行っている場合でも、他方の操作支援を同時に行うことによって、作業成績に悪影響を及ぼしているという結果も得られている。

これらのことは、実際に行っている作業情報への情報依存度が既に大きい感覚器の場合には、歩行者の接近を伝えてくれる支援情報に対して注意する意識を常にもたなければならない、もしくはその支援情報の存在を意識してしまうために作業情報への注意力が低下するので作業効率が悪化してしまうが、作業情報への情報依存度が小さい感覚器の場合には他の情報を注意する余裕が残っているので作業効率は悪化しないと考えることができる。

また、作業 A における B-Assist と S-Assist の組み合わせでは、警告ランプは注視点から遠くで点灯するが警告音があるために視覚としては作業に集中できるので S-Assist のみの場合と同等の成績を残していると考えられるが、L-Assist と S-Assist の組み合わせの場合には、効果の低い支援手法の方と同等な成績しか残せていない。これは、支援情報の存在そのものが作業への集中力を妨げる可能性があることを示していると言うことができる。

以上より、同時に複数の対象に対して意識を向ける必要のある作業において、主作業において情報依存度が低い情報の感覚器に対する操作支援を行う方が主作業の効率化に対して有効であり、情報依存度が高い感覚器に対する操作支援は、他の有効な操作支援の効果を打ち消す恐れまでもあると言うことができる。

4. 結論

本報では、機械操作時における操作者の認知状態の解明を試み、それを効果的な操作支援へと応用する手法の提案を行った。

その結果、次のような結論が得られた。

- ・ 熟練操作者へのアンケートに基づいて作成したシミュレータ装置を用いて、さまざまな情報をなくした状態で作業を可能とすることにより、文献⁽¹⁾における情報依存度という値を利用した操作者の認知状態の解明が可能となった。
- ・ 操作者に対する聴・力覚情報の視覚情報化や聴・力覚情報の誇張という各感覚器への操作支援の効果と、解明された認知状態とを関係づけることにより、効果的な操作支援を実現するための手法の提案を行った。
- ・ その手法の別作業における効果を検証し、他の作業への応用可能性を示した。

しかしながら、これらの議論はある特定の熟練操作者による実験結果から導き出されたものであるために、共通な安定した能力を期待できる一般熟練操作者への適用可能性は期待できる。しかし、能力にばらつきの大きい初心者に対する適用が可能であるかどうかは不明であり、今後の研究課題であると言うことができる。

文 献

- (1) 藤田, 鎌田, 宮田: 機械操作における技量の抽出に関する研究 (第1報, 視覚情報からの認知能力の抽出); 日本機械学会論文集 (C編) 67-653, pp.201-208 (2001-1)
- (2) 阿部, 柴田, 他: 熟練教示者の技能を考慮した規範に基づく切断作業ロボットの関節軌道計画; 日本機械学会論文集 (C編) 62-593, pp.215-222 (1996-1)
- (3) 神野, 永滝: 仕上げ作業技能の自動化; 計測と制御 第37巻 第7号, pp.504-507 (1998)
- (4) 高野, 長谷川, 佐相: 認知過程シミュレーションによる異常対応操作時の認知機能別ワークロードの推定; 人間工学 Vol.35 No.6, pp.395-410 (1999)
- (5) 大野宏司: ニューラルネットによるドライバの認知判断操作のモデル化; 豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.33 No.3, pp.85-92 (1998.9)
- (6) 川村貞夫: 人間の技量と機械の技量 ロボットにいかにより技量を発現させるか; 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.5, pp.586-590 (1998)
- (7) 岩田一明: 熟練技能の機械化についての現状と展望; 計測と制御 第37巻 第7号, pp.453-458 (1998.7)
- (8) 井口: 人間・機械系; 共立出版株式会社, (1966)
- (9) 宮田, 池田, 他: ラフテレンクレーンの操作性について; 日本機械学会[No.940-59(H)]シンポジウム講演論文集 (ジョイントシンポジウム) シンポジウム: ヒューマン・ダイナミクス, pp.88-92 (1994)
- (10) 神宮英夫: スキルの認知心理学 行動のプログラムを考える; 川島書店, (1993)
- (11) その他(1)の参考文献