2nd'ry task による人間の作業負担評価について

小林 弘明*・竹内 昭文**・内野 明子**

On the Evaluation of Human Operation Load by 2nd'ry Task

Hiroaki KOBAYASHI,
Akifumi TAKEUCHI and Akiko UCHINO

Abstract

As a high-tech system depends on the machine side for main part, human operator mainly acts the judgement for the machine processing. For this system, system must be evaluated including system operators. It is important to evaluate the human mental load, however the method of evaluating the mental load of system operator is yet to be established.

In this paper, the evaluation method using 2nd'ry task was studied to estimate the mental load.

The obtained results are as follows;

- 1) It is the effective way to evaluate the mental operation load using 2nd'ry task.
- 2) The evaluation results by this method indicate the difference quantitatively relating to the each mental load level.
- 3) It is not satisfy for evaluating human load to use subjective evaluation or performance evaluation individually, evaluation by 2nd'ry task must be joined to these methods.

1. 緒 言

近年、システムの自動化は各所に及んでいる。その開発設計の観点は、個々の要素の性能評価から、総合的な評価へと重点が変化してきている。全システムを評価の対象とするとき、システムを扱うオペレータの作業負担を正しく評価することは、それ自体重要であるとともに、システムの性能評価の点からも重要なこととなる。システム全体や構成要素の評価を、システムに含まれる人間を通して行うとき代表的なものは

- ・オペレータの主観的評価
- ・オペレータの生理的变化からの評価
- ・オペレータの行動量からの評価

などが挙げられる。

これらの評価はよく用いられてきたが、後述するように因果関係が不明瞭であったり、評価が反射応答的な点があり、高度なシステム中におかれた人間の知的負担の評価には必ずしも十分とは言えない。この点から、オペレータの作業負担の評価方法は、未だ十分な検討がなされているとは言えない。こうした点を踏まえ、本論では近年提案されている 2nd'ry task による人間の知的作業負担の評価について、検討を行った。

本評価法は参考文献(1)で用いられているが、有効性の確認や評価特性、適用方法等については未検討の段階である。今後重要な検討項目となる、人間の知的負担の評価法を確立する一端として本研究が行われた。

---

* 正 会 員 東京商船大学(〒135 東京都江東区越中島 2-1-6)

** 学生会員 東京商船大学大学院(〒135 東京都江東区越中島 2-1-6)

2. 2nd'ry task の構成

2nd'ry task とは、オペレータの行う主業務に平行して主業務と関連のない副業務、即ち 2nd'ry task をオペレータに課すものである。

本節では、人間の行動決定の過程および 2nd'ry task の構成について述べる。

2.1 人間の行動決定のプロセス

人間が行動を行う際、情報を処理する過程は図 1 に示すように、情報収集、解析、意思決定、行動(操作)の 4 つからなる。これを、行動決定のプロセスと名付ける。

この中で解析、意思決定の過程が、人間に知的負担を与えていると考えられる。またオペレータが 2nd'ry task を処理する過程も、Main task と同様な、情報収集、解析、意思決定、行動(操作)、というプロセスである。このことから、情報収集、行動(操作)の過程の負担が少ない 2nd'ry task ならば、その負担は知的負担と同一視できる。

さらに 2nd'ry task が人間に与える負担は、オペレータに 2nd'ry task のみを与えた際の達成度で評価できる。従って Main task を行っているオペレータに 2nd'ry task を課し、その達成度を比較することで Main task の知的負担を評価することが可能となる。

2.2 2nd'ry task の構成

2nd'ry task は以下に示すように、内容、提供方法、解答方法、出題間隔といった各要素から構成されている。これらの各要素は人間の行動決定のプロセスにおいて、情報収集、行動の過程の負担が少なく、かつ、解析、意思決定の過程の負荷となるために、以下に述べる条件が要求される。

(1) 内容

- ・行動決定のプロセスで解析、意思決定の負担となる(即ち人間に知的負担を与える)。
- ・特殊な知識、能力を必要としない。
- ・Main task の内容と関連がない。

こうした 2nd'ry task の内容には、計算問題、簡単な英訳や和訳、文字の並び換え等が挙げられるが、今回は計算方式について検討する。計算方式は、2 桁の引き算である。

(2) 提供方法

- ・行動決定のプロセスにおける、情報収集の過程の負担が少ない。
- ・オペレータに 2nd'ry task の内容を正確に伝えることが可能である。

今回は視覚を用いた表示方式と、聴覚を用いた問掛け方式について検討を行った。表示方式は CRT 画面上に 2nd'ry task を表示する方式、問掛け方式は出題者が 2nd'ry task を声でオペレータに伝える方式である。

(3) 解答方法

- ・行動決定のプロセスにおける、行動(操作)の過程の負担が少ない。
- ・オペレータの Main task の行動を束縛しない。

これについて今回は、オペレータが口頭で解答する方法を用いた。

(4) 出題間隔

- ・オペレータが、2nd'ry task を処理できる最低限の時間の確保。

こうした出題間隔は、現段階では知られていない。そこで出題間隔は、検討項目の一つとした。

次に、今回用いる 2nd'ry task は人間にどれだけ負担を与えるのか、を調べるためにオペレータに 2nd'ry task のみを課した実験を行った。結果を図 2 に示す。

図 2 において縦軸は 2nd'ry task の誤答率、横軸は出題間隔で、○印が問掛け方式、△印が表示方式で

行動決定のプロセス

図 1 行動決定のプロセス

与えたときの結果である。この図から出題間隔が長い程オペレータの 2nd'ry task の処理に余裕の生じること、提供方法によってオペレータが受ける負担が変化することがわかる。

なお図 2 で問掛け-3 秒は、オペレータが解答不可能となったり、解答を入力することが不可能となるため検討の対象外とした。

3. 操船シミュレータ実験

3.1 Main task の内容

次にオペレータの知的負担となる Main task について述べる。

今回用いた Main task は、2nd'ry task による評価がどういった作業の評価に適しているのか、その特徴を検討するために知的負担の異なる保針操船、航路追従操船、避航操船の 3 種類の Main task について、操船シミュレータを用いて実時間実験を行った。

保針操船は、一様でない風外乱が存在する海域上で針路を保持するものである。オペレータである操船者は、風外乱によって生じる回頭運動を止めるために、操舵による当て舵をとる。

航路追従操船は、無外乱の狭水道で設定された計画航路を航行する業務である。実験は CRT 画面で図 3 に示すような電子チャート上に、刻々の船位を示す情報を描きオペレータに示した。また操船は操舵者による制御特性を除外するためにオート・パイロットを用いた。

避航操船は、自船情報、他船情報、環境情報をオペレータに提供できる疑似レーダ画面の CRT 表示による情報を操船者に示した。このレーダ画面の探知距離は、6 マイルと 3 マイルの 2 種類である。また自船および他船の情報として位置情報の他に、レンジ内の他船の速度ベクトルを 3 分間に進む距離で表示し、ベクトルの向きは相手船の速度の絶対方向とした。レーダのレンジの切り換えは、オペレータの判断で自由に行うことができる。また操舵装置としては航路追従操船と同様にオート・パイロットを用いた。

以上、保針、航路追従、避航の 3 つの Main task の知的負担は次のとおり考えられる。

保針操船は回頭角速度と針路の偏位量に従ってオペレータが舵角をとるため、反射応答的な操作であり、知的負担は低いが行動の負担の大きいタスクとなる。

航路追従操船は計画航路に沿った操船を目標とした。従って計画航路との横偏位量、変針点との位置関係等を考え、自船の性能を考慮した操船となるため比較的、知的負担の高いタスクである。

避航操船は、他船との相対的な距離、速度、見合い角等を計算、解析することからオペレータは高いレベルの知的判断を行っており、知的負担が高いタスクである。

次に、航路追従操船と避航操船について比較すると、航路追従操船のオペレータの知的作業の対象は、自船運動と計画航路の関係のみである。また避航操船における対象は、自船運動、複数の相手船と環境条件との相対的運動での解析である。従って、避航操船の知的負担は、航路追従操船よりも高くなると考えられる。

さらに、2nd'ry task による知的負担の評価が、タスク内容によって変化する状況を検討するために、各 Main task についても 3 種類の難易度を設定した。知的負担の評価ができるためには、知的負担の大きなタスクでは難易度の差が顕著に現れる必要がある。

保針操船における難易度は、実験対象船の不安定ループ幅を用いて以下のとおりに設定した。

図 2 2nd'ry task の検討

図 3 航路追従操船実験における画面表示例

- ・難易度 1 については STABLE な船
- ・難易度 2 については不安定ループ幅 5 度の船
- ・難易度 3 については不安定ループ幅 25 度の船

航路追従操船における難易度は、CRT 画面でオペレータに与える情報の精度を変化させることで設定した。

- ・難易度 1 については設定海域の海岸線と航路線を表示し、自船の位置情報は測位誤差のない自船の航跡を表示
- ・難易度 2 については難易度 1 と同様に設定海域の海岸線と航路線を表示し、自船の位置情報は測位誤差の標準偏差の 2 倍が 30 (m) ($2\sigma=30$ (m)) のスポット表示
- ・難易度 3 については海岸線のみを表示し、自船位置は $2\sigma=100$ (m) のスポット表示

避航操船の難易度は、避航対象船の数や出現のタイミングや環境条件により他の 2 つの操船と同様に 3 つの難易度を設定した。

- ・難易度 1 については、避航対象船数 4 隻
- ・難易度 2 については、避航対象船数 10 隻
- ・難易度 3 については、避航対象船数 19 隻、避航域 3、計画航路線あり

避航のシナリオを図 4 に示す。

図 4 避航操船実験のシナリオ

3.2 2nd'ry task の決定

次に、今回行った Main task の中で最も知的負担の高いと考えられる、避航操船を用いて 2nd'ry task の構成内容を決定した。対象とした 2nd'ry task は、図 2 で示した 2nd'ry task のみをオペレータに課した結果から、今回は問掛け-5 秒、問掛け-7 秒、表示-4 秒を用いた。結果を図 5 に示す。

図 5 は横軸に難易度を、縦軸に 2nd'ry task の誤答率をとったものである。この図から、○印の問掛け-5 秒と、△印の表示-4 秒が Main task の難易度の変化に対し妥当な結果を示しており、今回は問掛け-5 秒を用いた。

また、全ての実験について 2nd'ry task による知的負担の評価の他に、これまでに用いられてきた評価方法の代表として主観的評価、操作量評価も行った。主観的評価については、実験終了後にアンケートを行った。さらに操作量評価については、各実験時に必要となる操舵回数、オート・パイロットの操作回数、計画航路からの横偏位量、DCPA 等の操作量について評価、検討を行った。

4. 結果および考察

4.1 操作量評価との比較

図6は3種類のMain task別に誤答率を分類したもので、各図とも横軸は難易度、左側の縦軸が誤答率、右側の縦軸が操作量評価を示している。操作量評価値は保針操船では操舵回数を、航路追従操船と避航操船についてはオート・パイロットの操作回数を対象とした。各図とも、白ヌキが誤答率、黒ヌリが各操作量である。

まず2nd'ry taskの誤答率について、航路追従操船、避航操船では難易度の上昇に伴い、右上がりとなる妥当な傾向を示している。

また保針操船についても、難易度とともに誤答率が上昇する結果となっている。ただし、難易度3については、難易度1,2と比べ誤答率が突出していることがわかる。ここで、この保針操船の操作量である黒ヌリの操舵回数も難易度3では、同様に突出している。これは保針操船ではオペレータが操舵という反射応答的なMain taskの行動による負担を受けているためと考えられる。

次に、右側の縦軸の操作量評価については、航路追従操船を除く2つのMain taskでは、黒ヌリの操作量が難易度の上昇とともに右上がりになっている。しかし、航路追従操船では、難易度と操作量の間にそうした相関は見られない。

一般にオペレータの解析対象となる情報が変化すると知的負担も変化する。しかし、操作量評価はこの航路追従操船におけるオート・パイロットの操作回数からもわかるように、解析対象の情報が変化し人間の知的負担が変化しても、操作量が必ずしも変化するとは限らない。従って操作量評価が知的負担の評価に、適切とは言えない点があることがわかる。

また、2nd'ry taskによる知的負担の評価は、保針操船のように行動(操作)の負担が大きいMain taskの作業中の知的負担評価では、その操作量に影響を受ける点が指摘できる。

しかし、航路追従操船や避航操船の結果から知的負担の高いMain taskの評価には、2nd'ry taskによる評価法が適していることがわかる。

4.2 主観的評価との比較

図7は図6と同様、誤答率と難易度の図で、右側の縦軸にアンケートによる5段階の主観的評価値をとったものである。図中の白ヌキは誤答率、黒ヌリは主観的評価値である。

まず2nd'ry taskの誤答率については先ほど述べたとおりであるが、主観的評価値もMain taskの難易度が上がるにつれ、困難となる結果となっている。

一方、図8は避航操船実験において、実験の順序を変更して行ったものである。

○印は難易度1→2→3で行ったもの、△印は難易度3→2→1で行ったものである。図8から2nd'ry taskによる知的負担を表す誤答率は差を生じないことが判る。また、主観的評価値は実験順序を変えることで異なる評価を下すことが読み取れる。この結果から、主観的評価は評価値が安定しないことがわかる。しかし、それに対して2nd'ry taskによる知的負担評価は、評価値がほぼ一定となる安定した結果を得ることができることがわかる。

図5 2nd'ry task のみを課した結果

図6 誤答率と操作量

4.3 時系列的評価

前項までの検討により、2nd'ry task を用いることにより知的負担を評価できる可能性を示した。本項では、別の観点からの 2nd'ry task の利用を考える。

2nd'ry task を用いた知的負担の評価の特徴は、一定の間隔で出題することから、時系列的に評価できることが挙げられる。図9は航路追従操船実験の航跡図で、黒マリの小さい●印は誤答箇所、白マリの大きい○印はオート・パイロットの操作を行った地点を示している。この図からわかるとおり 2nd'ry task の結果を、こうした航跡図と組み合わせることによりオペレータの受ける知的負担を時系列で評価することが可能であり、操船者が航行時のどのような作業を行う際、知的負担を受けているのかを評価することができる。

図10は航路追従操船実験において操船者に提供する情報が異なる実験の結果で、オート・パイロットの操作目的に着目した知的負担の解析例である。図10からわかるとおり、変針作業中に知的負担の増加する内容は、変針開始前よりも変針後の針路修正であることがわかる。

図9 2nd'ry task を用いた時系列評価例

図7 誤答率と主観的評価値 I

図8 誤答率と主観的評価値 II

図10 作業目的と負担度

5. 結 言

以下に、今回の研究で明らかになった点を示す。

- ・人間の知的負担を評価する手法として、2nd'ry task を用いた評価法が有効である。
- ・人間の知的負担を評価する 2nd'ry task の構成や構成要素における条件を明確化した。

そして 2nd'ry task を用いた知的負担の評価に、主観的評価、操作量評価等を組み合わせることで、オペレータの行う Main task と知的負担との因果関係を、より正確に評価することが可能であると言える。

最後に、本研究に際し、多大な尽力を頂いたナビックスライン(株)の阪口泰弘氏、東京商船大学大学院生の岡田健一郎氏、服部親明氏にこの場を借りて御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) H.Schuffel: The Ship Wheelhouse of The Nineties, J.of Navigation, Vol.42, No.1.
- (2) 小林弘明: 操船情報と操船精度について, 日本航海学会論文集, 第 88 号, 平成 5 年 3 月.
- (3) 小林弘明・片山瑞穂: ブリッジデザイン, 日本造船学会, 運動性能委員会・第 8 回シンポジウム.
- (4) 服部親明: 人間の作業負担の評価方法の研究, 東京商船大学平成 5 年度卒業論文.

質 疑 応 答

恩田裕治(株式会社郵船海洋科学): 2nd'ry task のサンプリングにあたり、Main task の設定範囲等、各実験実行に対し、考慮された事をお聞かせ下さい。

竹内昭文: Main task の設定等については、まず 2nd'ry task を用いた知的負担の評価がこういった作業の評価に適しているのか、を検討するために知的負担の異なる 3 種の Main task を設定致しました。

さらに、2nd'ry task が知的負担の評価に適するならば、知的負担の多い作業においては負担の差が明瞭になるべきであり、そうでなければ作業負担の差によって 2nd'ry task の差は生じないことになります。

これを立証するために、各 Main task について 3 種類の難易度を設定致しました。