

ヒューマン・インタフェイス設計に関する基礎的検討

Basic discussion on human interface design

代表研究者 福岡工業大学工学部情報工学科助教授 村田 厚生
Assoc. Prof., Dept. of Communication and Computer Engineering,
Fac. of Eng., Fukuoka Inst. of Tech.
Atsuo MURATA

In the human interface design, the importance of the measuring technique for stress, mental workload and fatigue cannot be emphasized. It is necessary to establish the measurement technique of stress, mental workload and fatigue induced by performing the mental task in the human-computer system. It is also essential to evaluate the usability of input devices, because the pointing task with input devices frequently occurs in the human-computer system. In this report, the following fundamental studies on human interface design were summarized: (1) the questionnaire survey on the occupational stress aspect of workers, (2) the experimental study on the mental workload measurement by Heart Rate Variability (HRV) measures, (3) the results of the experimental evaluation on the usability of six kinds of input devices, (4) the experimental study on the measurement of fatigue by the event related potential, that is, P300 latency.

Mental stress aspects of 260 employees at the car sales company, shipbuilding yard, nonlife insurance appraisal company and software company were investigated. The evaluation of stress grade for questions related to OA (Office Automation) were lower than that concerning family life, social life and job environment. There was a significant negative correlation between job satisfaction and the stressor score. A significant negative correlation was also found between job satisfaction and the stress state at present. The stress state of tens and twenties were higher than that of thirties, forties and fifties. On the other hand, the adverse tendency was observed with regard to the stressor score. The job satisfaction of sales and engineers was lower than that of office workers. The stressor score of sales and engineers was higher than that of office workers. As a result of the factor analysis for the evaluation of stress grade related to OA, the following potential stressors were clarified: factor peculiar to technostress symptoms such as anxiety and irritation in OA work, factor related to working condition and factor related to working environment. In the design of better human-computer system, special attention must be paid to these three stressors in OA work.

The measurement of mental workload by HRV measure was tried. In the experimental task, subjects calculated the residue obtained by dividing 2-digit number by three. The work levels, that is, the interstimulus intervals of the problem presentation, were set up to 2, 3, 4 and 5 seconds. The Electrocardiogram (ECG) was continuously measured during the experimental task. Concerning the error rate and the processing time, there were no significant differences among work levels. On the other hand, the mental workload value obtained by the method of paired comparison increased with the increase of the work level. The HRV measure TP, which corresponds to the frequency of the relative maximal and minimal R-R intervals, were found to be effective for the measurement of mental workload.

Six input devices were evaluated experimentally from the viewpoints of the relation between the Fitts' index of difficulty and the pointing time. Applying the Fitts' law to explain the relation between the Fitts' index of difficulty, which is calculated on the basis of the target size and the moving distance in the pointing task, and the pointing time, the usability was considered. The questionnaire on the overall usability for each device was also conducted. As a result, it was confirmed that the usability for the mouse and the direct input device was superior in the limitation of this study. These results can be used as basic data to design better input devices.

The measurement of mental fatigue induced by the VDT task was tried by the event related

potential P300. In the experimental task, subjects performed the addition of 2-digit numbers for 1 hour. The CFF (Critical Flicker Fusion Frequency) value and the subjective feeling on fatigue symptoms were measured before and after the VDT task. Moreover, the event related potential to the auditory stimuli was measured similarly. The rare and frequent stimuli correspond to the pure tone of 2 kHz and 1 kHz, respectively. The presentation time and the probability of rare stimuli were 300 msec and 0.2, respectively. Interstimulus time was randomly varied between 1.0 sec and 2.0 sec, so that the mean interstimulus time equals 1.5 sec. The subject was ordered to measure the number of the rare stimulus to concentrate on the task. As a result of the CFF test and the questionnaire of the subjective feeling on fatigue symptoms, it was judged that the mental fatigue was induced to a large extent by the experimental task. It was also observed that the P300 latency significantly increased after the task. In conclusion, the possibility to measure mental fatigue by the prolonged P300 latency after the task was suggested.

研究目的

本報告では、以下の四つの研究について得られた結果をまとめた。

1. 職場のストレスに関する調査研究

近年の産業構造の変化、OA・FA化などの急速な技術革新による職場へのコンピュータの導入に伴い、コンピュータ労働への不適応現象の結果として誘発されるテクノストレスが社会的に問題視されている。最適なヒューマン・インタフェイス実現のためにもコンピュータの使用によって誘発されるテクノストレスの問題は避けて通ることができないと考えられる。本節では、自動車販売、造船、損害鑑定、ソフトウェア関連の4社の従業員計260名を対象に、職場生活、家庭生活、社会生活などの一般的なストレス、OA特有のストレス、現在のストレス度、職務満足度を定量化し、労働者のストレスの実体調査を行った。

2. 心拍変動性指標によるメンタル・ワークロードの測定

OA・FA化に代表される高度情報化社会の進展とともに情報処理機器を使用する機会が増加し、多数の恩恵も受けてきたが、その一方では情報処理機器使用によって誘発されるメンタル・ワークロード、ストレスの問題も指摘されるようになった。人間とコンピュータのインタフェイス設計では、システムが人間の精神的な作業負担に及ぼす影響を明らかにし、作業負担が大きくなり過ぎないように最適な作業負担の観点から設計を心がけていくことも重要である。本節では、CRT

に表示された2桁の数値を3で割った余りをキーボードより入力する作業を取り上げて、入力までの制限時間を精神的な作業負荷レベルとして設定し、HRV指標による人間の精神的な作業負担（メンタル・ワークロード）の測定について検討した。

3. 入力デバイスの操作性の実験的検討

ヒューマン・インタフェイス設計では、入力デバイスによるポインティングの操作性は重要な要因の一つである。キーボード以外にマウス、ライトペン、グラフィックタブレット、ジョイスティック、トラックボール、タッチスクリーン、ライトペン、ジョイカードなどの入力デバイスを用いてコンピュータと対話を行う機会が増加した。本節では、ライトペン、タッチスクリーン（直接型）とマウス、トラックボール、ジョイカード、ジョイスティック（間接型）の6種類の操作性を、基本動作時間、単位情報量当りの処理時間、心理的な操作性の評価の観点から総合的に検討した。

4. 事象関連電位による疲労の測定

本節では、人間の疲労状態下では誘発刺激に対する認知情報処理に要する時間が延長するのではないかと予測し、誘発脳波による人間の疲労状態の測定の可能性を検証することを試みた。すなわち、被験者に簡単なVDT作業を負荷し、作業前・後の誘発脳波（聴覚刺激による）測定結果から作業によって誘発される精神疲労状態を測定できるかを検討した。この可能性が確認できれば、

現在広く用いられている産業疲労測定用のフリッカー検査、心電図 (ECG) などとともに、より効果的な疲労測定が実施できると考えられる。

研究経過

1. 職場のストレスに関する調査研究

調査票を、自動車販売会社、造船所、損害鑑定事務所、ソフトウェア関連会社に勤務する従業員 340 名に配布した。アンケートの回収率は 76.4% (回収数 260 人) であった。各会社の人数の内訳は、自動車販売会社 124 名、造船所 103 名、損害保険鑑定事務所 16 名、ソフトウェア関連会社 17 名である。このうち男性 220 名、女性 40 名で、平均年齢は 32.2 歳であった。職種は、営業 62 人、事務 61 人、技術 110 名、管理・監督 16 名、無回答は 11 名であった。また、260 名のうち仕事で OA 機器を使用する機会があると答えたものは 130 名であった。無回答の箇所は除外して各

質問項目ごとに集計した。

一般ストレッサーに関する 85 個の質問項目と OA 作業特有の 11 個の質問項目を作成し、以上の 96 個の質問項目に対して過去 1 年間にこれらの項目を経験したかどうかを答えさせ、あわせて配偶者の死に対するストレス度を 100 点とした場合に、各質問項目の経験を想定したストレス度を 1 から 100 までの数値で評価させた。回答者全員の評価値に基づいて各質問項目に対する平均値を計算し、これをストレッサーの定量値とした。各回答者ごとに、一般的なストレッサーに関する質問項目 85 個について訴えがある場合にはこれらの定量値を加算し、合計点を一般ストレッサー得点とした。ストレスが高すぎて仕事に手につかず自身でどうしようもない状態を 100 として 0 から 100 までの数値で現在のストレス度を評価させた。また、職務満足に関する 16 個の質

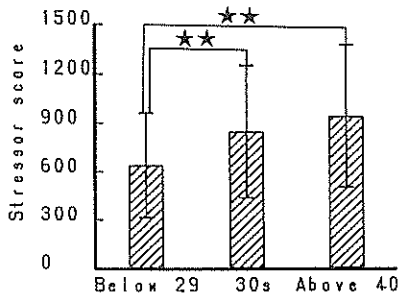


図 1. 年齢別の一般ストレッサー得点の比較。
(10・20代: 107人, 30代: 97人, 40・50代: 44人)
★★: $p < 0.01$

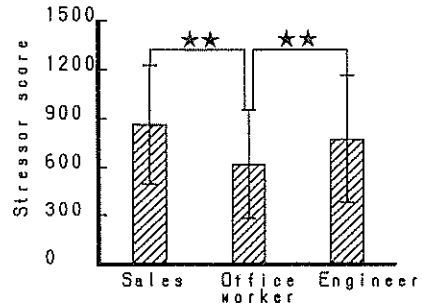


図 3. 職種別の一般ストレッサー得点の比較。
(営業: 62人, 事務: 61人, 技術: 110人)
★★: $p < 0.01$

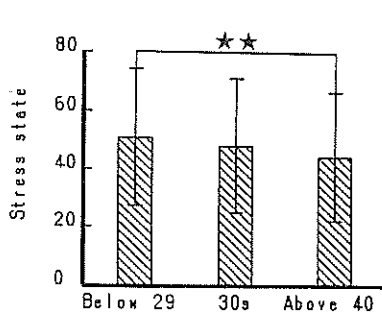


図 2. 年齢別のストレス度の比較。
(10・20代: 107人, 30代: 97人, 40・50代: 44人)
★★: $p < 0.01$

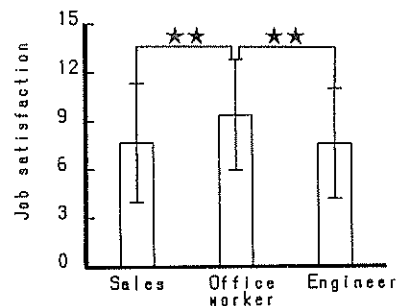


図 4. 職種別の職務満足度の比較。
(営業: 62人, 事務: 61人, 技術: 110人)
★★: $p < 0.01$

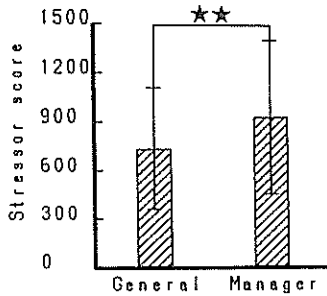


図5. 管理職・非管理職別の一般ストレッサー得点の比較。
(管理職: 56人, 非管理職: 203人)
★★: $p < 0.01$

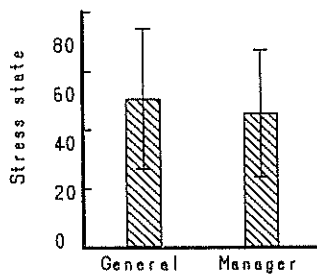


図6. 管理職・非管理職別のストレス度の比較。
(管理職: 56人, 非管理職: 203人)
★★: $p < 0.01$

問項目を作り, これらの質問項目に満足しているかどうかを聞き, 満足していると答えた個数を計数し, これを職務満足度とした。

2. 心拍変動性指標によるメンタル・ワークロードの測定

四つの作業負荷レベルを設定し, CRTに表示された2桁の数を3で割った余りをキーボードより入力させる作業を遂行させた。作業負荷レベルは, 実験者側で予備調査を行い, 入力までの制限時間を2秒(作業負荷レベル4), 3秒(作業負荷レベル3), 4秒(作業負荷レベル2), 5秒(作業負荷レベル1)の4条件とした。実験中, 実験前後の安静時間で心電図を連続的に測定し, 心拍R-R間隔を求めた。そして, 作業中の10分間のデータおよび安静5分間のデータを1ブロック(5分)ごとに分割し, 1ブロックで10種類の心拍変動性指標を求めた。また, 処理時間, エラー率もパーソナルコンピュータによって記録した。

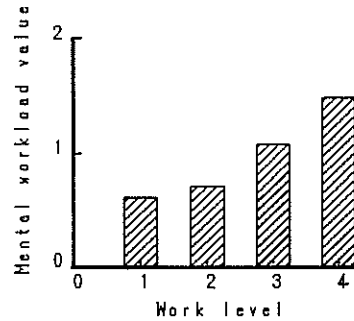


図7. 各作業負荷レベルに対する心理的な作業負担感。

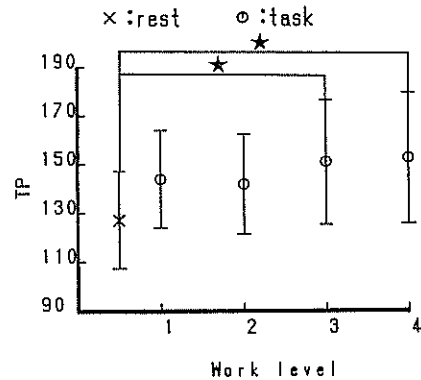


図8. 作業負荷レベルとTPの関係。
★: $p < 0.05$

まず, 実験に入る前にフリッカー検査を実施した。5分間の安静状態の心電図を測定し, すぐに作業を開始した。セッション間には約5分間の休憩(安静状態で休憩)を挿入した。各セッションには作業負荷レベル1から4までの作業をランダムに割り当てた。1セッションは, 10分の作業負荷からなる。セッション間の休憩時間にも, 心電図を連続的に測定した。作業終了後, フリッカー検査を行い, さらに最後に各作業負荷レベルの精神的な作業負担感に関する一対比較を実施した。被験者は, 健常な男子大学生11名である。

3. 入力デバイスの操作性の実験的検討

実験では, マウス, トラックボール, タッチスクリーン, ライトペン, ジョイスティック, ジョイカードを用いた。パーソナル・コンピュータにこれらのデバイスを接続し, CRTに表示する正方形の一辺の長さ s を 1.5, 2, 3, 4, 5 cm の5種

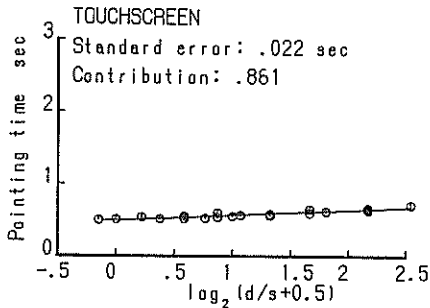


図9. タッチスクリーンに対する困難度とポインティング時間の関係。

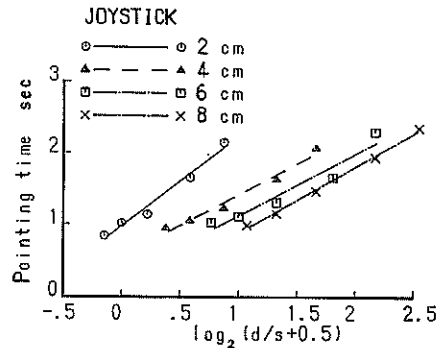


図11. ジョイスティックに対する困難度とポインティング時間の関係。

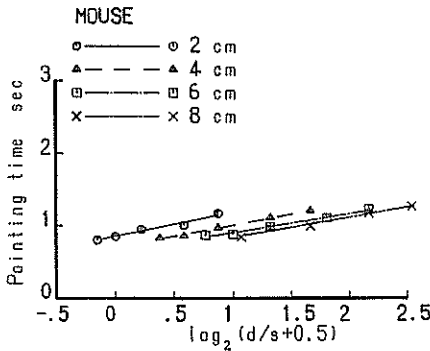


図10. マウスに対する困難度とポインティング時間の関係。

類, 移動距離 d を 2, 4, 6, 8 cm の 4 種類にした。CRT のバックグラウンド・カラーを青とし, ターゲットの正方形を白とした。ターゲットの大きさと移動距離の 20 条件をランダムに組合せ, この 20 条件のポインティングを 1 セッションとして, 各デバイスで計 10 セッション分のポインティング作業を実施させた。CRT 画面に 5 種類のサイズのいずれかのターゲットが現れ, これをまずポインティングする。その直後に同じ大きさの正方形が 4 種類のうちのいずれかの距離だけ離れて表示されてからこれをポインティングするまでの時間を計測した。六つのデバイスの使用順序はランダムにした。さらに, 作業終了後に全被験者を対象に 1: 不適, 2: どちらとも言えない, 3: 適の三つのカテゴリーで 6 種類のデバイスに対する総合的な使いやすさの評価を行わせた。被験

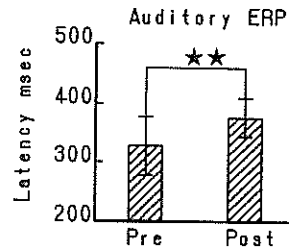


図12. 作業前後の P300 潜時の比較。
★★: $p < 0.01$

者は, これらの 6 種類のデバイスを使用した実験経験のある 21 から 23 歳までの健全な男子大学生 9 名である。

4. 事象関連電位による疲労の測定

rare 刺激として 2 kHz の純音を, frequent 刺激として 1 kHz の純音を用いた。A/D 変換のサンプリング間隔は 1 msec, 加算回数は 30 回とし, 計測用パソコンによって加算平均処理を行い, P300 の潜時を求めた。脳波測定箇所は Fz, Cz, Pz を選び, 両耳を基準とする単極誘導によって測定した。rare 刺激の出現確率は 0.2 とし, 刺激の提示時間は 300 msec, 刺激提示時間間隔は 1.0 から 2.0 sec の間のランダムな値とし, 平均値が 1.5 sec になるようにした。被験者には実験課題に注目させるために, rare 刺激が提示された回数を数えさせた。純音の音圧レベルは約 70 dB とした。

実験課題として, CRT 上に 2 桁の数とその加

算結果が表示され加算結果が正しければ0のキーを、誤りであればスペース・キーを押す作業(制限時間3 sec)を1時間連続して遂行させた。このVDT作業開始前と終了後に誘発脳波測定、日本産業衛生学会産業疲労研究会編の疲労自覚症状調べ、フリッカー検査を実施した。そして、誘発脳波の測定結果と疲労自覚症状調べ、フリッカー検査結果とを対照しながらVDT作業によって誘発される疲労をP300の潜時によって測定できるかを考察した。被験者は21から23歳までの健康な男子大学生16名である。

研究成果

1. 職場のストレスに関する調査研究

職務満足度と一般ストレス得点ならびにストレス度との間には、有意な負の相関が観察された。10代・20代は、30代、40代に比べてストレス度は高い値を示したが、一般ストレス得点の値は低かった(図1,2参照)。営業、技術は、事務に比べて職務満足度が低く、一般ストレス得点は高い値を示した(図3,4参照)。管理職の一般ストレス得点は非管理職よりも低かったが、ストレス度は管理職の方が低い値を示した(図5,6参照)。一般的なストレスに関する質問項目の評価値の因子分析の結果、家庭、個人、社会生活における不幸に関する因子、不安・責任に関する因子、職場生活における悪い方への変化に関する因子の三つが抽出された。OA作業特有のストレスに対する評価は、一般的なストレスよりも低い値を示したが、因子分析の結果よりテクノストレスに関連した不安、イライラ感の因子、OA作業条件に関する因子、OA環境条件に関する因子の三つが抽出された。

2. 心拍変動性指標によるメンタル・ワークロードの測定

一対比較法より得られた精神的な作業負担感を実験パラメータである作業負荷レベルの増加とともに増加し(図7参照)、HRV指標TP(R-R間隔時系列におけるピーク波とトラフ波の総数)が安静時に比べて精神作業時に有意に高い値を示すことが明らかになり、TPに基づいて人間のメンタル・ワークロードを測定できる可能性が示唆

された(図8参照)。

3. 入力デバイスの操作性の実験的検討

直接型は、操作面と作用面が同一で目と手の協調動作がやりやすいため、単位情報量当たりの処理時間 K 、基本動作時間 K_0 が間接型よりも低い値を示し、移動距離 d 、ターゲットの大きさ s の影響もほとんど受けなかった(図9参照)。 $\log_2(d/s + 0.5)$ はFittsの困難度指数を表す。また、ライトペンとタッチスクリーンでは操作性に大差は認められなかった。間接型に関しては、マウスの K 、 K_0 の値が小さかったことから操作性の高さが確認された(図10参照)。間接型も全般的に移動距離の影響があまり観察されなかったが、ジョイカード、ジョイスティック(図11参照)は $d=2$ cmで K の値が高く、ポインティングがむずかしいことが示された。

4. 事象関連電位による疲労の測定

正答率、回答率、平均処理時間のパフォーマンス・データに関しては、疲労が明確には出現しなかった。疲労自覚症状調べに関しては、30項目すべてで作業後に訴え率が増加した。作業前・後の各項目に対する訴え率の比率検定を行った結果、I群「頭が重い」($p < 0.01$)、「ねむい」($p < 0.01$)、II群「根気がなくなる」($p < 0.05$)、III群「肩がこる」($p < 0.01$)の四つに関しては統計的有意差が検出された。また、作業開始前のフリッカー値は 42.2 ± 1.8 Hz、作業終了後のフリッカー値は 40.75 ± 2.6 Hzで統計的 t 検定の結果、有意差($p < 0.05$)が認められた。本実験の作業課題によってかなりの精神的疲労が誘発されたものと判断できる。頭頂部Czから記録した聴覚刺激に対する作業前後のP300潜時の比較の結果を図12に示す。以上のように、P300潜時の作業後の有意な延長によって精神疲労を評価できることが明らかになった。

今後の課題と発展

1. 職場のストレスに関する調査研究

今後は本調査票をさらに改良し、データ数も増やし職場などのストレスについて検討を継続したい。本研究で得られた職務満足度が高いほどストレス状態が低いという仮説、さらにはストレス耐

性の定量的測定法についても検討していく必要がある。

2. 心拍変動性指標によるメンタル・ワークロードの測定

被験者に課せられる精神作業の種類によっても、そのメンタル・ワークロードを反映しやすい指標と反映しにくい指標があるが、今後はもう少しメンタル・タスクを体系化して、これらの問題点を深く掘り下げて検討する必要がある。また、1ブロック（本研究では5分）の時間をさらに短くした解析を試みることも今後の課題としたい。心電図はホルター式心電図などの携帯可能なものが普及しつつあり、脳波などに比較すると容易に測定できるという利点をもっているため、以上の問題点を検討しながら、HRV指標によるメンタル・ワークロード測定について呼吸、血圧の影響なども考慮しながら取り組んでいきたい。

3. 入力デバイスの操作性の実験的検討

今後は、各間接型の最適な移動速度の問題、カーソルの移動方向の影響、例えば垂直方向と水平方向の移動における操作性の相違などについても検討を加え、よりよいデバイス設計のための基礎データを蓄積する必要がある。また、マウスと同程度の操作性を有するトラックボールの開発な

どに向けて研究を進めていきたい。

4. 事象関連電位による疲労の測定

本節では、刺激提示時間 300 msec、刺激間の時間間隔 1.5~2.0 sec、rare 刺激の提示確率 0.2 であり、この条件下では作業負荷による影響が聴覚刺激に対する認知情報処理過程へ大きく出現した。P300 に影響を及ぼす因子として、年齢、課題の種類と難易度、刺激間の時間間隔、刺激提示時間、刺激提示確率、刺激強度などが指摘されている。今後は刺激提示時間、刺激の種類などの要因も体系的に取り上げて、P300 事象関連電位に基づく疲労測定の可能性についてさらに詳しく検討していきたい。

発表論文

- 1) 村田厚生：“生理心理指標による音に対する人間の快適感の評価”，第6回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，pp. 363~366 (1990).
- 2) 村田厚生：“心拍変動性指標によるメンタル・ワークロードの測定”，人間工学，投稿中。
- 3) 村田厚生：“職場のストレスに関する調査研究”，人間工学，投稿中。
- 4) 村田厚生：“ポインティング作業における6種類の入力デバイスの操作性の実験的検討”，電子情報通信学会論文誌 A，投稿中。
- 5) 村田厚生：“誘発脳波を指標とした疲労測定の試み”，電子情報通信学会論文誌 A，投稿中。