The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	二，三の人間機械系における健康障害の分析とその工学的解決法
Author(s)	西山，勝夫
Citation	大阪大学，1984，博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2358
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

二、三の人間機械系における健康障害の分析とその工学的解決法

西山勝夫

1983年11月

二、三の人間機械系における健康障害の分析とその工学的解決法

西山勝夫

1983年11月

概　　要

本論文は、我が国における 1960 年前後からの急速な技術革新の過程で産業現場に導入された新しい人間機械系の二、三について問題となった健康障害とその工学的解決法について論じる。

第一章では、技術革新のもとで大きな社会問題となった職業病について概括し、職業病の研究、対策における工学的方法の意義を論じた。

第二章では、小売業界で急成長したスーパーマーケットにおいて、1970 年代初頭に多発した金銭登録機取り扱い者の頚肩腕障害を扱っている。この章の研究では、工学的方法の応用により、作業実態を分析し、その原因が明らかにされた。

すなわち、金銭登録機操作は、主として視覚により商品に貼付してあるラベルから小さい数字、文字を認知することと、右手の手指を絶えず基準位置におくようにしながら、かなりの筋力を発揮し、できるだけ迅速かつ正確に対応するキーを打つことから成っている。したがって、生体への負担は、

1）　打鍵、商品移動などに使用される手、指、腕、肩、頚などの局所筋に対する負担

2）　多種多量の商品の弁別、キーをみないでなされる打鍵動作、顧客、包装従事者などとの間の対人関係の維持などによる神経的、精神的負担

3）　狭小な作業空間における立位姿勢の長時間維持、調節できない作業面の高さや角度に対する拘束姿勢、体をねじることなどによる負担

4）　騒音、冷暖房、照明、気流などの作業環境による心身負担

などから成っている。これらの生体への負担による疲労が、作業量、1日の作業時間、一連続作業時間、作業密度、休憩などの作業編成の因子と疲労回復条件、健康管理体制、労働者の全般的健康状態などによって、蓄積ないし固定化傾向を強め、慢性化、非可逆化、持続化し、ついには、病的状態におちいると考えられる。レジ作業はとくに上肢の反復使用による負担が大きいため頚肩腕障害を発生しやすく、適切な作業管理が必要である。

さらに、解明された原因を基礎に、金銭登録システムの改善策を示した。

第三章では、種々の工具の動力化により発生した局所振動の暴露による健康障害を扱っている。すなわち振動暴露による振動覚閾値の一時的上昇についての生理学的評価が、動力工具の改善にとっても重要なことを明らかにし、動力工具使用の実態に即した振動の実

験的暴露を行なった場合の振動覚閾値の上昇の研究結果を示した。すなわち、振動覚閾値の上昇は、

1　暴露振動の周波数に依存し、200～250 Hz で最大となる。

2　暴露振動の振幅のべき乗に比例して大きくなる。

3　振動するハンドルを把持する力が大きいと大きくなる。

4　振動暴露後の時間経過とともに指数関数的に小さくなり回復する。

得られた実験データをもとに暴露振動の周波数が 8～2000 Hz の場合についての、振動覚閾値の上昇量などを良好に近似する数式モデルを確立した。

第四章～第六章では、エレクトロニクスの開発・発展により 1980 年前後から事務機械化が新しい段階を迎えたなかで、普及しはじめたコンピューターの入出力装置であるブラウン管を利用したビデオ表示端末の問題を扱っている。

第四章では、ビデオ表示端末取り扱いによる目に関する障害を扱っている。その対策の一つとして、画面の反射防止策が種々とられているが本研究では、二、三の反射防止策の効果について、光学的方法を応用し、測定・分析した結果を示した。すなわち、反射防止策の中には、文字の明瞭度を低下させるものがあること、また、明るい文字を暗い画面（地）に表示する陰画表示の場合、反射抑制効果の高い反射防止策のみを施したのでは、視覚的負担の軽減は期待しにくいことなどを明らかにし、高品質の陽画表示端末の開発の必要性を示した。

第五章では、ビデオ表示端末の視覚的負担要因の一つとしてあげられている画像書き換え周波数（フィールド周波数、ラスター周波数ともよばれる）を扱っている。本研究では、現在普及している画像書き換え周波数をどの程度まで上昇させるべきかを明らかにするために、画像書き換え周波数と蛍光体の蛍光残光減衰特性を変えられるシミュレーターを開発して行なった実験結果について述べている。すなわち、蛍光減衰（ピーク値の 10 % 迄の）時間は 4 msec で、画像書き換え周波数が 30、60、90、180 Hz について 60 分の読取り作業をさせたところ、フリッカー値、眼位、近点視力については、30 Hz ないし 60 Hz で印刷文書や、画像書き換えのない画面（0 Hz）に比べて、有意な変化が認められ、とくにフリッカー値を指標とするならば、画像書き換え周波数として、90 Hz 以上を必要とすることが示された。

第六章では、ビデオ表示端末の拘束姿勢による健康障害を扱っている。本研究では、諸元の調節可能なビデオ表示端末台、キーボード台、椅子などから構成されたシステムを試

作し、これを用いて、拘束姿勢の場合とビデオ表示端末取り扱い者が自ら快適な姿勢に調節した場合の間の負担差を自覚症状と身体計測により明らかにした。

すなわち、実験室的研究でも、現場使用の場合でも、調節可能な方が、身体部位の不調を訴える者の少ないことが示された。さらに、諸元について、ビデオ表示端末取り扱い者が快適な値、耐容しうる範囲を測定したところ、全ての人々が、耐容できる、あるいは、快適と感ずる唯一つの値というものはないことが示された。

第七章では、第六章までの研究結果を概括し残された問題点や、これからの人間機械系における健康障害に対する工学的研究の課題について述べ、本研究の結論とした。

目　　次

はしがき　1
第一章　技術革新と職業病　4
　第一節　新しい人間機械系と職業病　4
　第二節　職業病の研究・対策における工学的課題　6
　　文献　8

第二章　金銭登録作業者の頚肩腕障害　9
　　概要　9
　第一節　頚肩腕障害の発見　10
　第二節　１９７０年頃の作業実態　12
　第三節　心理的生理的負担　20
　第四節　結論－金銭登録システムの改善　22
　　文献　26

第三章　動力工具取り扱いによる局所振動障害　29
　　概要　29
　第一節　工具の動力化と局所振動障害の発生　30
　第二節　局所振動の感覚生理学的影響　32
　第三節　振動暴露による振動感覚閾値の上昇　39
　第四節　動力工具の無振動化，自動化　48
　　文献　50

第四章　ビデオ表示端末の反射防止策の評価　56
　　概要　56
　第一節　ビデオ表示端末取り扱い者の目の症状　57
　第二節　画面の視覚的負担要因　59

第三節　反射防止策の効果の測定評価　66
第四節　光学的特性の改良　73
文献　76

第五章　ビデオ表示端末の画像書き換え周波数と視機能・自覚症状　81
概要　81
第一節　ビデオ表示端末シミュレーター　82
第二節　視機能への影響の実験的評価法　83
第三節　視機能を低下させる画像書き換え周波数　86
第四節　画像書き換え周波数の向上　88
文献　90

第六章　ビデオ表示端末ワークステーションの調節と拘束姿勢負担　91
概要　91
第一節　拘束姿勢等による運動器系の障害　92
第二節　調節姿勢と拘束姿勢の作業負担差　93
第三節　現場における調節姿勢の効果　101
第四節　ワークステーションの可調節性の意義　103
文献　105

第七章　結論　107

謝辞　112

はしがき

本論文の研究対象は、1960 年前後から始まった技術革新の過程での機械化、動力化、自動化、コンピュータ化により生れた新しい二、三の人間機械系で発生した職業性の健康障害である。

第一章では、技術革新のもとで大きな社会問題となった職業病について概括し、職業病の研究・対策における工学的課題について考察をする。

すなわち、技術革新の過程で問題となった新しい職業性の健康障害の病因、発症機構、病像、診断、治療に関する研究や人間機械系の労働負担の研究において工学的方法の導入が必要とされていた。さらに、新しく、機器、装置、設備が開発・導入される際には、安全と健康保護という視点から、事前に、科学的、工学的検討が十分なされていることが、健康障害の予防のために本来必要であることを述べる。

著者は、技術革新と人間の安全・健康の間の深刻な矛盾が、多方面で問題になり始めて間もない 1971 年に大阪大学基礎工学部より関西医科大学衛生学教室に就職し、細川汀助教授（現、京都府立大学教授）の指導を得て、働く人々とその職場に接し、いのちと健康を守るために、主に疲労性の職業病についての研究・調査に従事することとなり、その後、労働衛生学の分野で、ずっと研究を行なうこととなった。その際に大阪大学基礎工学部で修得した計測、解析評価の工学的方法を用いて、種々の健康障害について研究し、成果を得ると共に、これらの健康障害の予防のための工学的課題についても研究を進めてきた。これらの成果のうち特に人間機械系に関連の深いものを本論文にまとめることにした。

その主要な研究課題の１つは事務作業等の機械化に端を発した頸肩腕障害－上肢を同一肢位に保持、又は反復使用する作業により、神経・筋疲労を生ずる結果おこる機能的あるいは器質的障害（人体組織の病的変化）であった。なかでも、金銭登録作業者の頸肩腕障害については、ちょうど、著者が教室に入って間もなく始めた研究であり、キーパンチャーについで同一職種に多発をみたものであった。本論文第二章では、この金銭登録作業の労働負担の主として工学的方法による分析的研究について述べる。

又、当時は、林業労働の機械化により多発した局所振動障害について、各地の山林労働者の健康診断、疫学的調査や労働負担調査に加わるなどして、その実態を明らかにすることも重要な研究課題であった。 1977 年に著者が滋賀医科大学予防医学教室に変ってからは、疫学的調査に加えて、渡部真也教授の指導を受けて、局所振動及び全身振動の人体に

及ぼす影響の生理的評価を行なう研究に従事することとなった。局所振動障害の発生機構の実証的研究は、病像、発症の経過、診断、治療の研究や予防対策の考案に比べて、遅れていたが、動力工具の振動の軽減ないし使用の基準や局所振動障害の病理を理解する上で重要な課題と考えられていた。本論文第三章では、振動暴露条件をコントロールできる実験室と加振システムを構成し、手に暴露される振動特性と指尖振動覚閾値の鈍麻の関連を明らかにした研究について述べる。

マイクロエレクトロニクスの開発・発展により、 1980 年前後から事務の機械化が新しい段階を迎えた。すなわち、コンピューターの入出力装置として、ブラウン管を利用したビデオ表示端末が普及し始めた。日本では、その取り扱いによる健康障害については何ら研究されていなかった。

著者は、1981 年 4 月より 1982 年 11 月まで、スイス連邦立工科大学の衛生学・人間工学研究所で在外研究をする機会をえた。そして、人間工学界の大家であり、ビデオ表示端末の人間工学的研究でも大きな位置を占めていた Grandjean 教授の指導を受けてビデオ表示端末の研究に従事した。

Grandjean らは、1970 年代後半の現場調査によりビデオ表示端末取り扱い者に目の症状や頸・肩・腰等の運動器系の症状が多いのは、人間工学的に不完全な画面の光学的特性、キーボードやワークステーション（机、椅子、ビデオ表示端末などの機器、什器の総体をさす）のデザインなどにあることを明らかにし、その改善のためにいくつかの研究に着手しており、著者はこれらの研究に参加することができた。

第四章では、ビデオ表示端末の視覚的負担要因を明らかにし、画面に施した二、三の反射防止策の効果を判定するために若干の光学的要因について測定評価した研究について述べる。

第五章では、ビデオ表示端末の視覚的負担要因の一つとしてあげられている、画像書き換え周波数（ラスター周波数、フィールド周波数などともいわれる）の視機能低下への影響を明らかにした実験室的研究について述べる。

第六章では、拘束姿勢の負担を軽減するために、開発したワークステーションを用いて、ビデオ表示端末作業における姿勢調節の必要性を明らかにした研究について述べる。

著者は、技術革新のもとで問題になってきた様々な職業病、職業性の健康障害の研究に従事する中で、職業病の病理・病像・発症の経過・診断・治療・予防対策などの究明における、工学的方法の有効性、限界も検討してきた。そこで、第七章では、以上の研究の結

論をまとめるとともにそれをふまえつつ、安全、快適な人間機械系を構成するための工学的課題について考察した。

第一章

技術革新と職業病

第一節　新しい人間機械系と職業病

1960 年前後から 1970 年代にかけて、日本の重化学工業を中心とした莫大な設備投資と技術革新による高度成長が進められた。その過程で、コンピューターが採用され、オートメーション化が労働生産性を著しく高めた。そして、次々と新しい人間機械系が産業現場に導入され、人々は、重筋肉労働の負担から次第に解放された。こうした、急速で広範囲な技術革新は、しかし、一概に労働者の負担を軽減したのではなく、かえって新しい質の労働負担の強化と労働災害、職業病の発生をもたらしたり、市民生活では、公害をもたらしたりした。

当時の職業病発生の特徴の１つは、石油化学、合成化学などの化学工業の革新により、ニューフェースの工業中毒が続々と発見されたのみならず、古くから知られていた有害物質の新しい使い方等によるリバイバルの工業中毒が多発したことである。

もう１つの特徴は機械化、動力化、自動化、コンピューター化により、産業疲労の質的変化がもたらされ、そのために、種々の新しい職業性健康障害が発生したことである。

その典型例の１つが、事務作業の機械化にともなう頸肩腕障害の発生である。この障害は、当初、パンチカード・システムの導入により生れた婦人の新しい職種キーパンチャーに多発し、キーパンチャー病と呼ばれた。電動式の軽いキータッチのため高速打鍵が誘発されることによって手指から腕・肩・頸にはげしい苦痛をともなう障害が生じると考えられた。ところが、その後、キーパンチのように高速でない打鍵作業や打鍵を必要としない事務機械、機械を扱わない事務作業にもキーパンチャー病と類似の症候が発見され、さらには事務作業以外の職種にまでひろがっていった。このため、病理、病像、発症の経過、診断、治療、予防対策の解明が重要な課題となり、疾病と労働の因果関係の立証や労災補償が被災者にとっては、痛切な願いとなった。細川（1977）は、これらの頸肩腕障害を表１－１のようにまとめている。さらに、頸肩腕障害の他に運動器系の障害として腰背部障害があげられる。以前は、重量物挙上などによる災害性の腰痛が主であったが、機械化に

表１－１　頸肩腕障害の発生職種（細川、1977）

動作＼姿勢		機械使用		機械を使用しない	
		機械に合わせた拘束連続同一姿勢が多い	拘束されるが付帯作業があり、不自然な姿勢が多い	姿勢に変化がとぼしいが、緊張がつよい	不自然な姿勢が多い（立ち、しゃがみ、中腰、ねじり）
反ぶくが多い	手指を思いきり早く動かせる	キーパンチ、電動タイプ(カナタイプ、テレタイプ)	スーパーチェッカー(ECR)オンライン端末機、小包整理（コンベア）	札勘、伝票めくり、速記、ピアノ(教師)	筆耕 郵便物整理
	力がいる指手首・腕の使い方をする	邦文タイプ、ホッチキス包装、手動式タイプ、コンベア包装(薬)	スーパーチェッカー(MCR)、ラベラー、電話交換、案内、コンベア包装（タバコ）	ボールペン複写、捺印、靴底はり、POP、トレース	ナットじめ、パイプ削り、服地切断、調理
反ぶくが少ない	腕を高く上げて手を使う事が多い	コンベア組立アンプル検査引金工具使用	ミシン縫製、穴くり、いもの	婦人服整理、縫製、美容、秤量、検査	注射、服地修正、反物巻、司書、写真焼付
	上肢を無理な使い方をする	機械修理、配達・運送	製しゅう（レース）、溶接、クレーン・リフト運転	運搬、配達、化粧品外交	施設保育、保育所、保育、看護

より、全身振動、拘束姿勢、不良姿勢の反復ないし持続による疲労性の腰背部障害が増加したのである。

頚肩腕や腰背部の障害についで典型的な例は手持工具の動力化による局所振動障害の多発である。1960 年代の紙パルプ産業などの急成長を背景にして、山林労働には大きな変化、すなわち、チェンソー（動力鋸）、ブッシュクリーナ（刈払機）などの機械の導入と伐木～枝払い～玉切～集材に至る作業のシステム化が進められるなかで国有林の伐木労働者の「白ろう病」として、社会問題化したのが始まりである。すなわち国有林の場合チェンソーを使用する伐木労働者の約 35～50 % が手指蒼白（レイノー現象）にかかり、約 50～70 % が手指のしびれ・冷え・痛みなどを訴え、特に伐木径の大きい天然林の多い木曾や四国・九州においては手指蒼白だけでも 60 % をこえた。

その後、症例の報告・研究により種々の産業現場で急速に普及した数々の動力工具で、局所振動障害が発生していることが示された。

これらについても、頚肩腕障害と同じくその病理、病像、発症の経過、診断、治療、予防対策の解明が重要な課題となり、又、労働との因果関係の立証や労災補償が被災労働者の痛切な願いとなった。

その他に、機械化、自動化が進められた職場では、作業のスピードアップと正確性の追及、品質管理による精神緊張の増加とともに、労働の画一性、反復性、他律性、作業内容の無意味さなどによる人体の生理機能の攪乱がおこり、精神神経の障害を増加させ、産業精神衛生上大きな問題が生れてきた。

また機械化、自動化が部分的にしかなされず、その前後の工程は、以前とかわらない技術条件のもとで、著しく作業強度が高められたりすることが多い。そのために、従来考えられなかったようなところで、労働災害、職業病が発生した。

さらに、機械化に当って、騒音、照明、その他の環境条件が以前のままであったり、機械本位に変更されるために、心身の疲労が著しく高められた。一部では、機械化、自動化にともない、交替制が導入され、長時間労働、夜間労働による生体リズムの攪乱、疲労が高められた。

これらの分野ではこれらの新しい職業性の健康障害について当初十分な対策がとられていなかったため、重症な患者が多発した。そして、これが契機となって、その分野については一定の対策がとられ、重症化が押さえられた。しかし、先の経験が生かされず異なった産業、職場、職種において再び発症を見、対策がとられるという経過をたどってきた。

そして、マイクロエレクトロニクスの開発・発展により1970年代後半から事務の機械化はオフィス・オートメーションの時代に入ったといわれている。事務所だけでなく工場や家庭にまでブラウン管を応用したビデオ表示端末が急速に普及しはじめた。日本ではビデオ表示端末による重症な健康障害の症例はまだ報告されていないが、新たな質の労働負担がもたらされている。また、ロボットを導入したファクトリー・オートメションも急速に進んでいる。このような技術革新の新たな段階に対応した職業病を予防するための研究と対策が現在重要な課題となっている。

第二節　職業病の研究・対策における工学的課題

細川（1976）は、従来の職業病問題が

（1）患者の偶然な発見（多くは重症者）

（2）企業の業務上疾病の否定にもかかわらず、多発または死亡

（3）労働者の告発と主治医の医学的立証

などを起点にした経過が普通であることを批判して、労働医学の科学性の促進のために、

1）患者の早期発見と情報の収集

2）病像の記録と疫学的検討（実態の把握）

3）すべての要因の検討と重みづけ（原因の調査とくに複合要因の究明）

4）すべての予防対策の提起（とくに労働条件の改善と快適作業環境の形成）

5）学問・研究の組織化と成果のつみあげ

などの過程の必要性をあげている。

これらの過程における職業病の研究・対策のための工学的課題を考察してみると

1）労働者の職歴と有害因子への暴露等を含む労働条件に関する情報収集とそのデータベースの構築による、患者の早期発見、疫学的研究の促進。

2）疫学的研究のために、コンピューターによる統計解析の方法を確立すること。

3）発症した健康障害の要因の分析ならびに人間機械系の改善と予防対策の解明のために工学的手法を応用すること。

等が課題としてあげられるだろう。

以上あげたものは、工学的方法の応用という課題であり、今後の工学の発展により、さらに多大の応用効果が期待できると考えられる。

しかし、現代における職業病の大部分は

1）新しい生産工程、生産方法、使用物質などの採用と実施について、これらの安全性を十分検討することがなかったこと。

2）大規模な生産施設、連続高速運転、機械化の促進にあたって、それらについての安全衛生、労働密度の引き上げによる健康障害の防止及び公害防止の対策の十分な検討と実施を節約していること。

のような発生要因を共有していることが指摘できる。

すなわち、工学の分野で開発される新技術について安全・健康という視点からの研究や検討体制が欠けていた、あるいは不十分であったということである。この面では、現代の医学の知見等に基づいた工学自体の研究の組織化と成果のつみあげが必要である。これこそ働く人々の安全と健康を守る上で重要かつ本質的な工学的課題であると考えられる。

人間工学や労働安全衛生工学などという新しい学問分野が技術革新の始まりとともに生れたが上記課題はこれらの専門分野だけでなく、すべての工学、技術学の課題として提起されているものと考えられる。またこの課題を進めることは、今後の工学、技術学の発展にも役立つであろう。

文　　献

細川汀（1976）：労働省「職業病対策要綱」について考える、労働と健康、16。

細川汀（1977）：頸肩腕障害のための健康手帳、労働経済社。

第二章
金銭登録機作業者の頚肩腕障害

概要

本章では、金銭登録作業が、頚肩腕障害を発生する職種であることを、スーパーマーケットにおける集団健康診断、作業研究、心理的生理的負担の測定という方法により明らかにし、障害予防のために、金銭登録機の改善等の対策を示した。

本研究の特徴は、作業過程のフローチャート分析、16 mm 映画撮影フィルムの Motion Analyzer による動作時間分析などの作業研究法や機械式レジスターのキーボタンの打鍵状態や作動力のストレーン・ゲージによる検出などの工学的方法の応用により、上肢作業の分析を試み、事務室以外の職場で、かつキーパンチ作業のような高速打鍵を要しないといわれていた職場においても頚肩腕障害が発症することを実証したことにある。

すなわちレジ作業者の頚肩腕障害の主な原因は以下の通りであった。

1）金銭登録機の過重なキー作動力

2）金銭登録機のキー配列が日本人の手の大きさに比べて大きすぎる

3）金銭登録機のキー盤面の傾斜角が大きすぎること

4）タッチシステムによる準高速打鍵

5）立位での拘束姿勢、調節不可能な作業面高

により、従来の店舗作業条件のままでは、長時間ないし頻回の上肢の同一肢位での保持、又は、反復使用が作業者にとって過重な負担となること。

副次的要因、すなわち、上記過重負担をさらに強める要因としては、以下のものがあった。

1）計算や記憶の機能に欠ける金銭登録機

2）打鍵情報の表示位置の不適切さ

3）顧客へのサービス、商品の包装などの心身負担

4）顧客本位の環境条件

5）競争原理による業績管理

6）疲労回復条件の不備

本研究に続いて

1）障害の実態についての全国的な調査

2）レジ作業の心理的生理的負担の評価

3）予防対策の考案とその導入効果の評価

などについて研究が進められた。

著者らの研究を契機として各地でスーパーマーケットの金銭登録機作業者に頸肩腕障害が多発している実態が示され、政労使ともに看過できない状況となった。日本産業衛生学会「頸肩腕症候群」委員会も金銭登録機作業を特別に取り上げ、著者らの研究成果の多くを基礎に、労働省に学会勧告を行なった。そして、「金銭登録作業管理について」（労働省、1973）、「金銭登録作業に従事する労働者に係わる特別健康診断について」（労働省、1973）が出された。

本研究は、日本の金銭登録作業の作業管理を大幅に改善し、金銭登録機作業、ボールペン複写、一般事務作業、電話交換、保育所保育、障害児介護等における頸肩腕障害の病像と作業の関連の実証的研究の展開や障害の予防対策の確立のための方法を明らかにした点で、多大な意義があったと考えられる。

尚本章は、主に、日本産業衛生学会誌の「産業医学」に掲載された原著論文

西山勝夫、中迫勝、細川汀（1973b）： スーパーマーケットにおける労働とその健康への影響 （第1報） 金銭登録機取り扱い作業者の労働と労働負担、産業医学、15、229－243。

に基づいて記されている。

第一節　頸肩腕障害の発見

頸肩腕障害は、上肢を同一に保持、又は、反復使用する作業により神経・筋の疲労を生ずる結果おこる機能的あるいは器質的障害である（日本産業衛生学会「頸肩腕症候群」委員会　昭和47年度報告、1973）。

頸肩腕障害は、 1960 年代に我が国で、キーパンチャーに初めて認められた職業病である。しかし、当時、頸肩腕障害という概念は確立されておらず、従来の整形外科学の成書にいう頸肩腕症候群と類似するところから「職業性頸肩腕症候群」という診断名などが用いられていた。またその主な原因として、手指による長時間・大量の高速打鍵作業が考えられていた。ところが、まもなく、キーパンチャーの場合と類似の訴えが英文タイピストや他の事務機械作業者にも聞かれ、治療を受ける者も現れ始め、「職業性頸肩腕症候群」のキーパンチャー以外の職種での発症の実証、及びその病像、診断方法、対策の解明が焦眉の課題となった。

著者は細川、中迫（現、関西医科大学助手）らとともに様々の職種における「職業性頸肩腕症候群」の発見、病像と作業の関連、障害の予防対策について一連の研究に取り組んでいた。これらの作業のなかには、軽筋肉労働に属するもので、全く機械を使わないために、キーパンチャーのような高速打鍵作業による手指、手、腕、肩、頸の筋肉の持続的緊張を荷せられているようには見なされていないものもあった。

そして、キーパンチャー以外の職場や職種で、「職業性頸肩腕症候群」のような職業病が起りうると考える人々は、非常に少なかった。このような状況の中で、筆者らは、手指、手、腕、頸、肩のこり、いたみ、しびれなどの症状を訴えて、細川教室を訪れる人々の健康診断と作業分析を基礎にして諸職種の頸肩腕障害発症の実態と対策の研究に努めていた。

1971 年 5 月にＲスーパーマーケットの金銭登録機作業者が、教室に受診して「頸肩腕症候群」であることが判明した。これを契機に著者らはＲスーパーマケットの全金銭登録機作業者を対象とした健康診断を実施し、「頸肩腕症候群」の多発していること、キーパンチャーやタイピストなどに比べ短い経験年数で発症している者が多いことなどを認めた（表２－１）。著者らは、これらの健康診断結果をもとに、1971 年の日本産業衛生学会近畿地方会等（西山、1971； 西山、中迫、細川、1972； 中迫、西山、細川、1972b）で金銭登録機作業者にも職業性頸肩腕症候群が発生することを初めて明らかにした。著者らは、金銭登録機作業者の質問紙法による全国的な調査や京阪神を主とするスーパーマケットの巡回健康診断により得られたデータの疫学的分析（西山、中迫、細川、1973a； 西山、中迫、細川、1974； 細川、中迫、西山、1974）とともに、作業方法、作業条件の分析研究により金銭登録機作業と頸肩腕障害の因果関係、頸肩腕障害の予防対策を明らかにしなければならなかった。

表2－1　某スーパーマーケットの健康診断結果

経験年数	人数	健康診断所見						判定の分布				
		自覚症状	筋圧痛	筋運動	筋　力	末梢神経	末梢循環	健康	要注意（1度）	要注意（2度）	要医療（軽症）	要医療（中・重症）
1年未満	8	1(3)	0(1)	2(0)	2(0)	0	0(2)	5	3	0	0	0
2年未満	13	5(7)	4(6)	3(1)	6(5)	0(3)	0(4)	2	3	1	5	2
2年以上	6	2(3)	2(2)	1(3)	1(3)	0	1(2)	1	4	0	1	0
総　計	27	8(13)	6(9)	6(4)	9(10)	0(3)	4(8)	8	10	1	6	2
%		77.8	55.6	37.0	70.4	11.1	44.4	29.6	37.0	3.7	22.2	7.4

注：（　）内は一部異常を認めるもの，%は27人中の全異常者（一部異常を認める者も含む）の占める率．

キーパンチ作業は、キーが軽く、高速単純反復打鍵作業が可能であったが、これにくらべると、金銭登録機作業は、速度も遅く極めて複雑にみえた。このような金銭登録機作業にも、上肢における同一肢位の保持又は、反復使用が長時間あるいは頻回に含まれていることの実証が要請されていた。

第二節　１９７０年頃の作業実態

1953 年にスーパーマーケットが日本で初めて開店して以来、その店舗数は、1958 年に 492 店、1973 年に 9043 店と急速に増加し、その年間販売額は小売業界の 7.4 % を占めるに至り、小売業界に大きな地位を築きあげた（通産省、1965～1971)。なかでも大規模セルフサービス・グループを中心としたスーパーマーケットの急増は著しかった。その際、金銭登録機が日本に導入され、スーパーマーケットの経営合理化の手段として重要な役割を果してきた。

すなわち、金銭登録機取り扱い作業は、

１）販売の最後の締めくくりの場であり

２）経営管理上最も重要な記録を得る場であり、セルフサービス店の成功の鍵であると位置づけられてきた。

ことに、より速く、かつ、より正確に金銭登録作業をするためにアメリカで考案・実施されていた、キーボードを見ないで金銭登録機を操作する「タッチ・システム」は、日本では、「タッチ・システム」スクール、「チェッカー・コンテスト」などが行なわれることにより、アメリカ以上に普及するにいたった（スエダ事業本部、1970)。

このような状況のもとで、金銭登録機を専門的に操作する作業者（チェッカー、レジ係、レジ作業者、キャッシャーなどと一般に呼ばれている。以下では、レジ作業者、その作業をレジ作業という）が出現し、その数も増加の一途をたどった。

１．調査方法

ＲスーパーマーケットのＫ店のレジ作業に従事する全作業者（女子）9 名を調査対象と

した。対象者の年齢は 18 才から 21 才までで平均 19.7 才であった。

調査日は 1971 年 6 月 23 日（水）、25 日（金）、26 日（土）の 3 日間であった。

作業内容の分析と検討を目的として、

1）作業過程の動作要素・流れの分析調査

2）手指運動の動作時間調査

3）作業量調査

を行なった。

2．レジ作業の流れ

調査を実施した店舗では、２人１組のレジ作業者が、１台の金銭登録機を１日中担当し、金銭登録機操作（チェックともよばれる）と商品包装（サックともよばれる）の作業を交代で行なっていた。この作業過程をまとめて、図２－１に示した。以下では、図２－１に記入された番号順にレジ作業の特徴と問題点を述べる。

1）　金銭登録機の始動

開店準備時に行ない、特別な事情がなければ、清算終了時までロックをはずしたままにしておく。また、釣銭準備金の確認をし、金銭登録機の日付を合わせ、売上合計を零に戻すなどの初期化を行なう。

2）　客待

図２－２に示すような狭い作業空間に拘束され、椅子もないため、客待時でも立位姿勢である。そして、顧客が自分のカウンターに来るかどうかを絶えず注意していなければならない。

3）　売上商品の価格、分類項目しらべ

顧客が、商品を入れたかごを自分のカウンターに持って来ると「いらっしゃいませ」とあいさつし、手際よくかごを取り寄せ、順次商品を左手で取り上げ、価格、部門を正確に、認知しなければならない。広告商品（特価品）については平常価格で登録するなどのミスのないように注意や暗算をし、価格や部門が不明の商品については、自分で、あるいは同

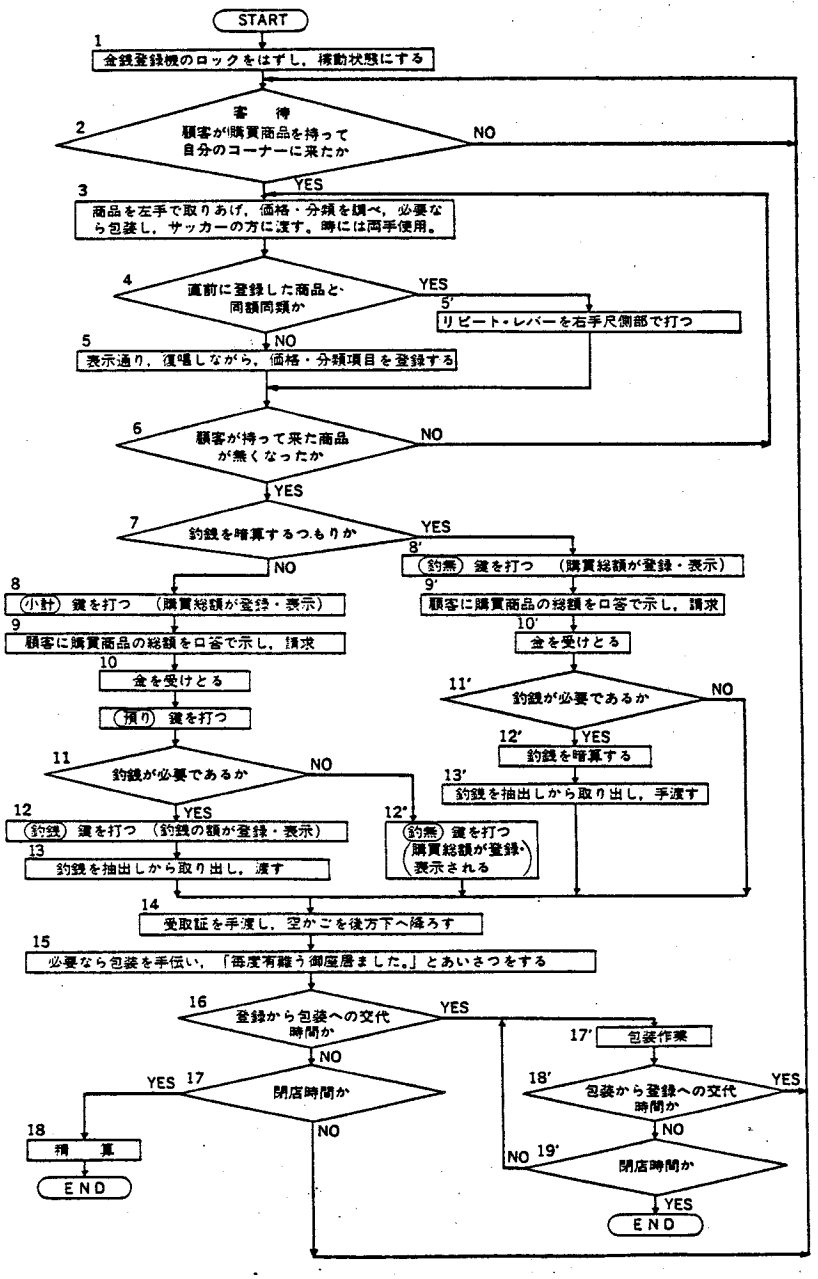


図２－１　スーパーマーケット、金銭登録作業のフローチャート

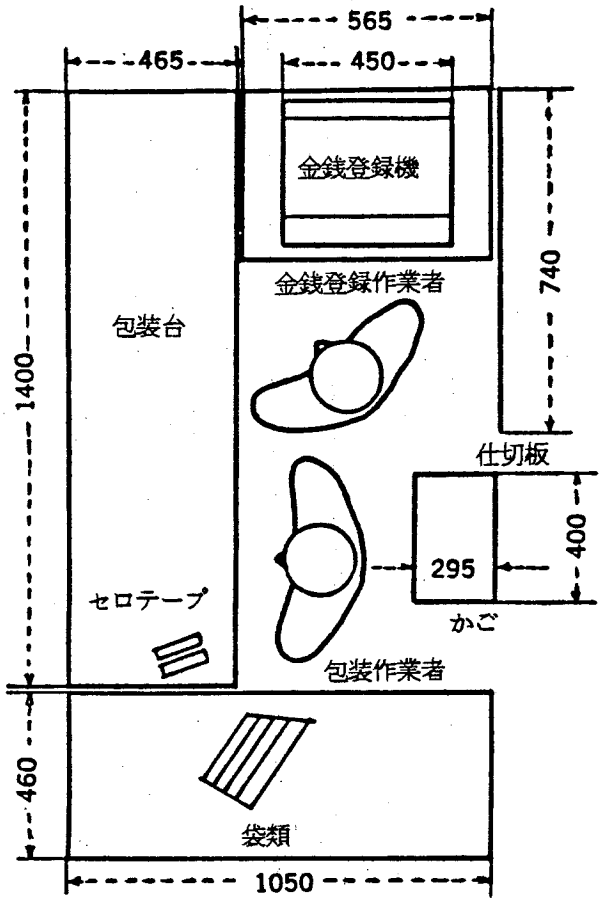


図２－２　金銭登録作業の作業空間

作業面高　：　735mm

鍵盤中央高：1070mm

僚の協力を得て調べねばならない。さらに、商品の欠陥の有無を点検したり、商品により（たとえば、豆腐、卵、魚類など）特別な包装が必要なため、しばしば両手を用いなければならない。包装紙を作業台の下から取り出すためには中腰の姿勢をとらねばならない。この過程を通じて、商品の重さ、硬さ、大きさなどに応じた筋緊張の調節などの感覚と運動の同調、包装従事者（サッカー）との円滑な協力などが金銭登録機を操作する者（チェッカーともよばれる）には必要とされている。

4）　リピート・レバー押し

リピート・レバーのある金銭登録機が使用されていたので、直前に登録した商品と同部門、同一価格であれば、右手掌尺側部によるリピートレバーの打鍵のみで登録できる。この過程は、（3）の認知過程と結合されているが、同種の商品でも重量差などにより価格の異なる場合もあり、注意の集中・維持が求められる。

5）　商品の価格、分類項目の入力

後述するタッチシステムにもとづき金銭登録機の鍵盤をほとんど見ることなしに右手の手指運動により商品の価格、分類項目を打鍵入力する。この際ミスを少なくするために、商品の価格を復唱しなければならない。また、この過程では、サッカー（包装を担当する者）に登録商品を左手で渡す動作を含むため、サッカーとの協力、左右の筋的努力の強度弁別および制御が必要とされる。

6）　登録終了の確認

顧客は、店舗備えつけのカゴに購入希望商品を入れてカウンターに来ているので、それらの商品のすべてを登録し終るまで（3）～（5）を繰り返し、登録もれのないことを確認した後（7）以降の集計勘定の過程に移る。

7）　釣銭計算法の選択

釣銭計算機能を有する金銭登録機が用いられているにもかかわらず、レジ作業者の多くがしばしば釣銭を暗算処理していた。

釣銭を暗算しない場合は、

８）　【小計】鍵を打つと、総額が金銭登録機の表示窓とレシートに出力される。

９）　顧客に買上商品の総額をはっきりした声で、「〇〇〇円ちょうだいします」と請求する。

１０）　顧客から金銭を受け取ったならば「〇〇〇円いただきます」と改めて売上金額を復唱し、

１１）　預かり金額と【預り】キーを打つ。もし、顧客が金銭を出すのに手間どっていれば、その間に商品包装を補助せねばならない。

１２）　釣銭が必要であれば、【釣銭】キーを打つと釣銭額が表示されるので

１３）　釣銭を引出しから取り出し、顧客の前に金銭を渡しながら、声を出して釣銭を数えなおす。

釣銭が不要であれば
１２’）【釣無】キーを打つ

（８”）～（１３”）は釣銭を暗算する場合の集計過程であり、前述に比べて、打鍵回数は少なくなるが、正確かつ迅速な減算を主とする暗算がレジ作業者に要求される。なお、当時は、釣銭計算機能の無い金銭登録機も多く用いられていた。

１４）、１５）　応待の終了
　レシートを渡すと１人の顧客についての取引は終了するので笑顔で「毎度ありがとうございます。またのご来店をお待ちしています」などと結ぶ。そして受け取った金銭を、紙幣は表を上に同じ方向にむけて、それぞれ決められた区分の中に納め、引出しを閉じる。この金銭処理過程の途中あるいは後に、図２－３に示すように、体をねじり、空かごを後方下に積み重ねる。

図２－３　金銭登録作業者のかごを積み重ねる姿勢

１６）　作業の交代

この店舗では、客数 100 人ごとに金銭登録機取り扱い作業と包装作業を交代するように定められている。

１７）　閉店時の金銭登録機の取り扱い

閉店時には、各金銭登録機で登録した売上金額と受領金額の照合が行なわれ、諸計算の結果と現金等を責任者に届ける。その際、金銭登録機は再びロックされ休止状態となる。

以上の全過程を通じて、顧客の苦情処理だけでなく、礼儀正しく客に接してまた買物に来たいという気持を顧客に持たせるような努力、万引に対する牽制などをしなければならない。

３．打鍵時の手指運動

この店舗ではＮＣＲの 22号－804 型という電動モーター式（停電時には手回しで稼動可能）金銭登録機が用いられている。鍵盤の勾配は　30°で、キーは、図２－４に示すようにフルキー式のキー配列である。各キーは押されるとその状態でロックされ、機械的に各桁、各部門のカウンターにその状態がセットされる。部門別キーの打鍵が、トリガーとして全カウンターがモーターないしゼンマイバネで回転し、カウンターによる計数が行なわれる。これは、電動式の四則計算機に広く使われていたフルキー式のキーボードの置数のメカニズムとほぼ同じ原理であると思われる。これらのキーの作動力を　KIFA STRAIN METER で測定した結果を表２－２に示した。全てのキーのタッチが重く、とくに商品部門別キーの作動力は他のキーの約３倍となっている。これは、電子計算機用のカード穿孔機や当時大量に市販され始めていた卓上型電子計算機等のキーの作動力（50～200ｇ）の 5～50 倍にも相当していた。

レジ作業者の主作業である金銭登録機の打鍵動作の手順は「タッチ・システム」として定められており、金銭登録機メーカーの訓練機関などで訓練が行なわれている。打鍵手順は、図２－４に示すキー配列面上の 100 円の桁のキー【１】に右手第一指、10 円の桁のキー【５】に第２指、1 円の桁のキー【７】に第３指、商品部門別キー【ミ】に第４指を

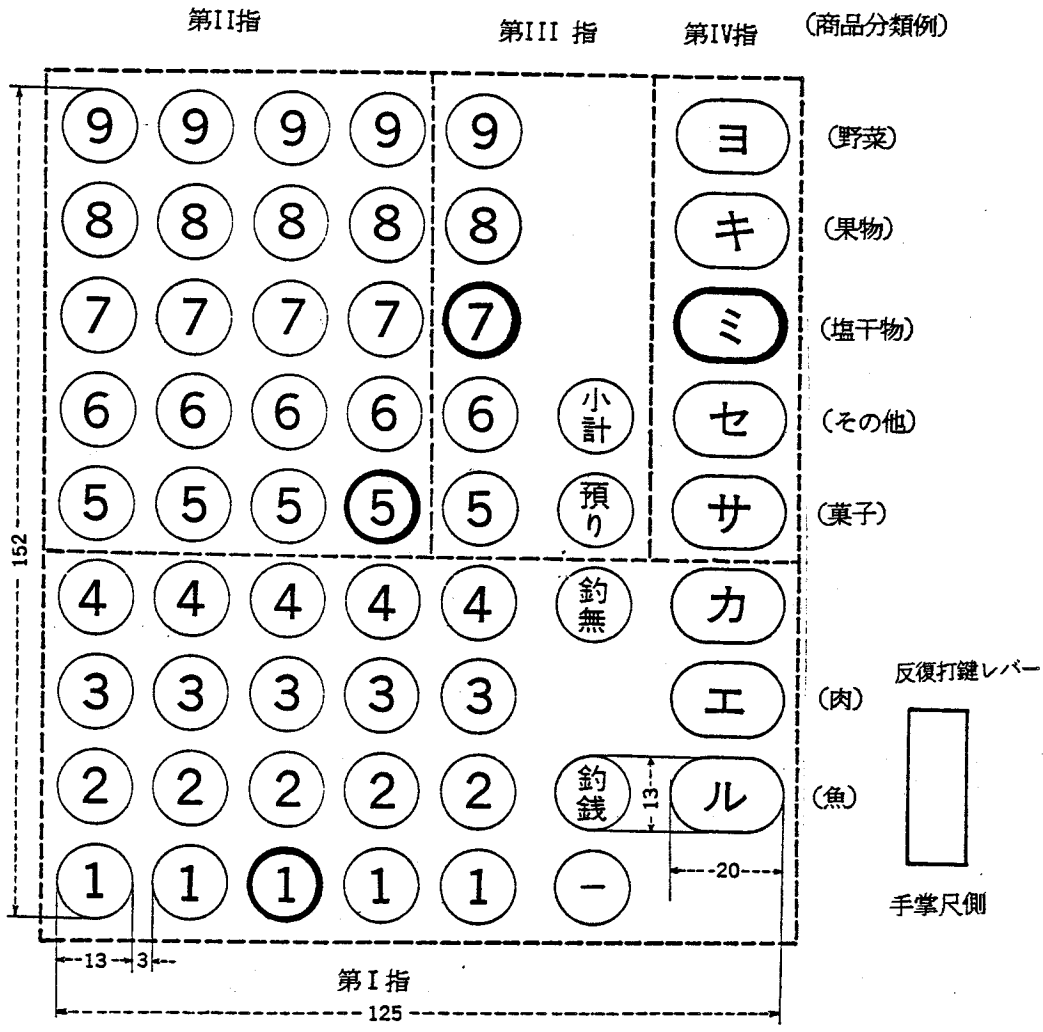


図２－４　各指の打鍵範囲

○（太線で表わしたキー）：基準位置を示す

表２－２　手指別、キー別、キー作動力

手指	第 I 指				第II指		第III 指		第IV指	
キー	価格キー		商品部門キー		価格キー		価格キー		商品部門キー	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
キー作動力（g）	770	190	2660	570	780	220	900	190	2320	440

M：平均値、　SD：標準偏差値

おいた状態を基準位置とする。図２－５は基準位置に各指を置いた手の状態を示している。そして、第１指は、1 円から 10000 円の桁の【１】から【４】および商品部門の【カ】【エ】【ル】と【釣無】【釣銭】【－】のキーを分担し、第２指は、10 円から 10000 円の桁の【５】から【９】のキーを分担し、第３指は、1 円の桁の【５】から【９】及び【小計】【預り】のキーを、第４指は、商品部門別キーの【ヨ】【キ】【ミ】【セ】【サ】のキーを分担する。第５指の分担はないが、手掌の尺側が、同一商品同一価格の登録用の反復打鍵レバーを分担している。登録は価格、商品部門の順に行なうが、各時点で打鍵に使用する以外の指はできるだけ基準位置から離さないようにして一層の正確性を達成するシステムとなっている。

このタッチ・システムのために手指運動はしばしばかなり不自然なものとなる。すなわち、キー作動力が表２－２に示すように大きく、さらにこれらのキーは一旦押すとロックされるので、指をキーから離す動作は、レジ作業者の筋的努力のみによってなされねばならない。そして、１商品を打鍵し終るたびに基準位置へ手、指を戻すこと、できるだけ各指が基準位置から離れないようにすることに拘束されて作動力の大きいキーを打たなければならない。その結果図２－６に示すように、16 mm 映画フイルムで高速撮影した打鍵動作では拘束的で不自然な手指運動が頻繁に見られた。

４．打鍵動作の時間分析

打鍵動作を撮影した 16 mm フイルムを NAC/MOTION ANALYZER にて分析し種々の手指運動パターンについての所要時間を求めた。すなわち、各指の打鍵時から次のキーを打鍵する瞬間までのフイルムのフレーム数から遷移時間速度を算出した。また、各商品の登録が終るたびに、各指はタッチ・システムにしたがって、基準位置に戻り、次の商品の登録開始まで滞留しているのでその時間もフレーム数を数えることにより求めた。各キーをタッチ・システムに基づいて各指別のブロックに分け、それぞれの組合せの遷移について平均所要時間を求め、表２－３に示した。×印は、タッチ・システムにより組合せの禁止がなされていることを示し、空白欄の組合せは、当該撮影フイルムでは観測できなかったことを示している。

これらの結果によれば、１商品の登録打鍵のために、基準位置から離れはじめ、登録が

図２－５　金銭登録作業者の手の基準位置

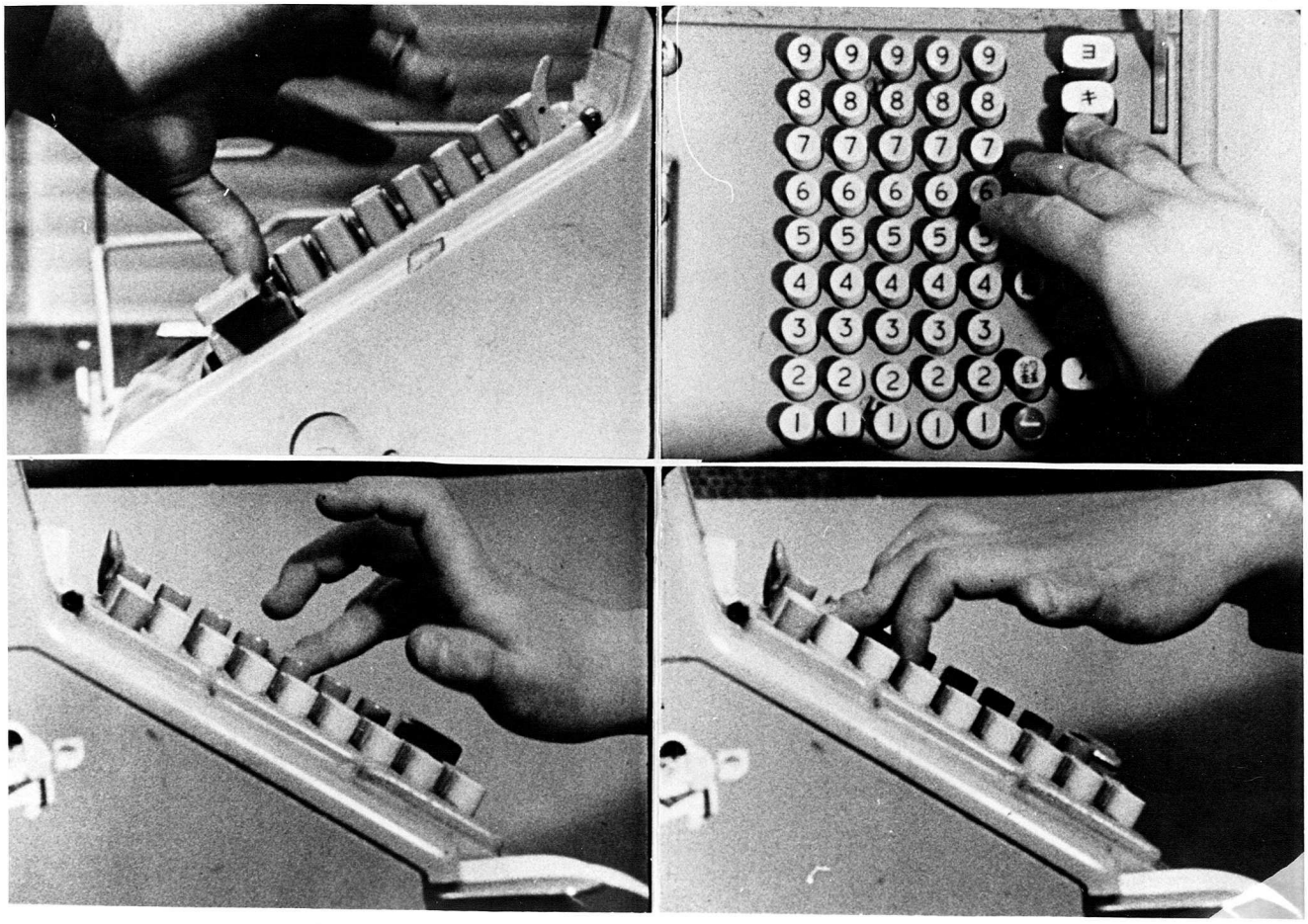


図２－６　金銭登録作業者の打鍵時の拘束的な手指運動

表２－３　平均打鍵速度、右手の各指の鍵盤の分担範囲別に現在打ったキーの位置から次のキーの位置までの所要時間（単位：msec）で示す

NAC/MOTION ANALYZER による

現在の手指の位置 ＼ 次の位置		基準位置	¥100のけた		¥10のけた		¥１のけた		商品部門別鍵		集計勘定キー	復帰レバー
			第１指	第２指	第１指	第２指	第１指	第３指	第１指	第４指		
基準位置		1300	230	540	350	350		380		500	430	540
¥100のけたのキー	第１指	×	×	×	330							
	第２指	×	×	×						380		
¥10のけたのキー	第１指	×	×	×	×	×	350	300	370	260		
	第２指	×	×	×	×	×	310	340	350	440		
¥１のけたのキー	第１指	×	×	×	×	×	×	×		330		
	第３指	×	×	×	×	×	×	×		320		
商品部門別キー	第１指		×	×	×	×	×	×	×	×		
	第４指		×	×	×	×	×	×	×	×	710	540
集計勘定キー												
復帰レバー		210			210						250	
基準位置滞留時間					280							

終り再び基準位置に戻るまでに要する時間は平均 1.3 秒であり、商品を連続的に登録打鍵している場合の基準位置での滞留時間は平均 0.3 秒であり、1商品当り平均登録時間は1.6 秒であった。

5．作業量

K店の場合、始業 9 時 30 分、開店 10 時、閉店 18 時 30 分であった。金銭登録機操作と包装作業は2人1組で行い、

1） 定められている通り、取り扱い客数 100 人毎に交代される場合、

2） 午前と午後とで交代される場合、

3） 一定時間ごとの交代

など数種の方法が実際にはとられていて、レジ作業者1人当りの1日の延金銭登録機分担時間は 3.5 時間から 4 時間が大多数であった。休憩は昼食時と午後の2回で合計 60 分間と定められており、各カウンター毎に順次交代して取られていた。

図2－7は、K店1階食品売場の3台の金銭登録機についての時間帯別平均取り扱い商品数を例示している。時間帯別取り扱い商品数は、各金銭登録機に取り付けられている 8 個の商品部門別取引回数機から 30 分ごとに読み取った値の総計の平均値を平均累積商品取り扱い数とし、この数値から 30 分前の平均累積商品取り扱い数を減じた値、すなわち 30 分当りの平均取り扱い商品数で示されている。調査日3日間を通じて明らかになったのは、作業密度が 11 時頃と 17 時頃で極大となり、30 分当りの平均取り扱い商品数は 300～350 個に達したこと、なかには 600 個と作業密度の上限に近いと思われる場合もあったこと、他方、作業密度が極小となるのは、開店直後と 14 時頃で、30 分当りの平均取り扱い商品数は約 100 個であったこと、すなわちレジ作業者の労働密度の日内変動が大きいことなどである。打鍵数は、金銭登録機に内蔵されている営業記録紙の1日分を清算後借用し、印刷されている数字、符号を数えあげて各キーごとに求めた。図2－8は、その結果を示しており、上段の数値は、1台の金銭登録機の各キーの1日の実打鍵数を示し、下段の（ ）内の数値は、1日の全打鍵数に占める各キーの打鍵数の率を % で示している。図2－8の場合、1日の全打鍵数は約 12000 であり、1人当り1日約 6000 であった。打鍵がタッチシステムによって成されているため、各指の打鍵範囲が明確である

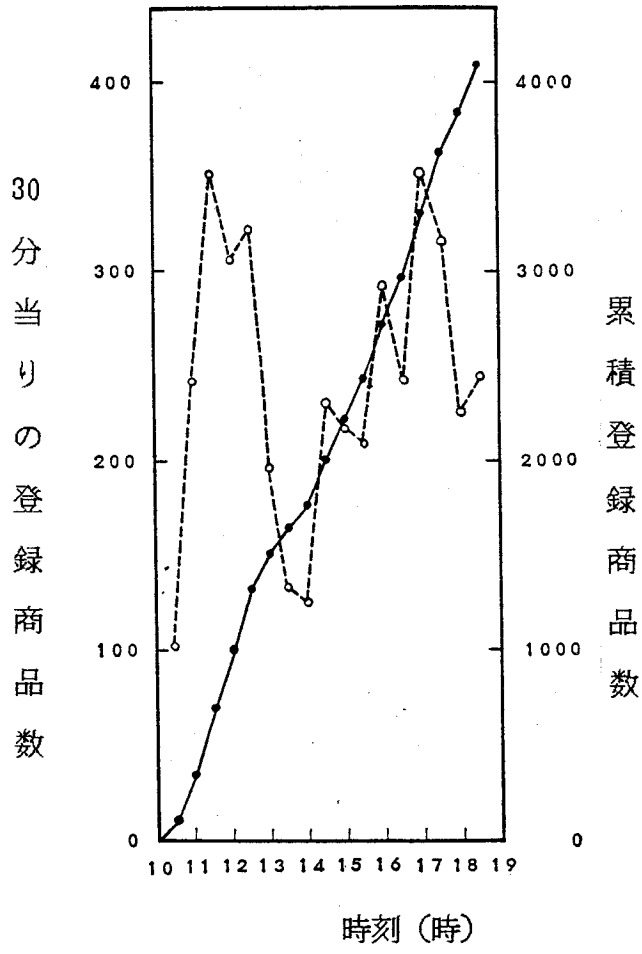


図２－７　スーパーのレジ１台当りの平均登録商品数の推移　（1971年 6月26日）

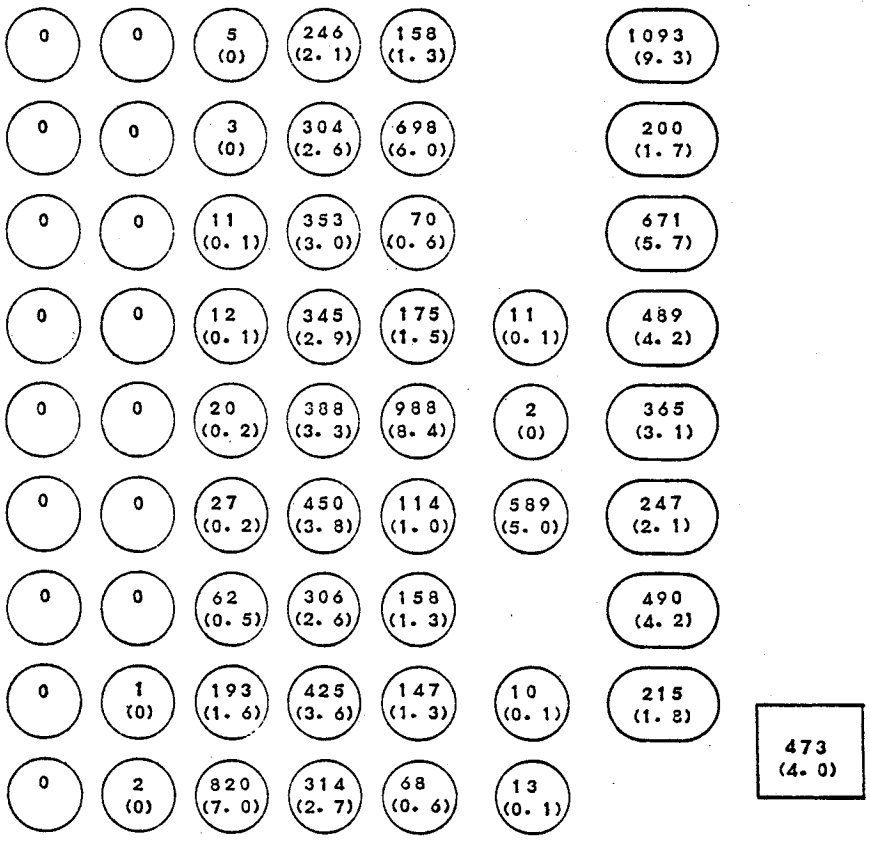


図２－８　金銭登録機の１日当りの各キーの打鍵数と全打鍵数に対する比率、なお、０が記されているキーは、調査日には打鍵されなかったことを示している。

から、図２－８より表２－４に示すように各指の打鍵数が得られる。その結果、第１指についで第４指の打鍵数が多く、各指間にかなりの差が認められた。これら各指の仕事量を測定できれば打鍵による手指の筋的負担をかなり客観的に評価できると著者は考えたが、キーパンチャー病の場合、高速打鍵に注目されたこともあり、そのような評価は従来行なわれていなかった。そこで使用されている金銭登録機の各キーに加わる力をレジ作業中作業に支障を与えないで、連続的に測定する方法を種々考察し試みた（西山、1975，1976）が、成功するに致らなかった。したがって、とりあえず、打鍵による手指の筋的負担の大きさ（L）が

$$\Sigma \ N_i \times F_i$$

N_i：キー i の打鍵数

F_i：キー i の作動力

におおむね比例すると仮定し、表２－２のキー作動力を用いて各手指について筋的負担の大きさ（L）の計算結果を表２－４の下段に示した。その結果により、第４指の筋的負担が非常に大きいことが定量的に明らかとなった。各手指の筋力を比較すると第４指は他者に比べて劣るなどの生理的な筋的能力の差がある（小山内、1963；久保田、1969）ので、打鍵回数、筋力の面から、第４指を用いる手指運動の負担は非常に大きいと考えられる。

キーパンチャーについては「キーパンチャー等作業管理基準」（労働省、1964）により、１日のタッチ数は 4 万を越えてはならないと規制していた。穿孔機のキータッチの強さが、50～200 g と言われており、仮りに 200 g と見積り、上式と同じ方法で、タッチ数 4 万の場合の全手指の筋的負担を求めると 8000 kg となる。その結果、金銭登録機の筋的負担は、交代なしに１日中、金銭登録操作につく（これは、ワンマンシステムなどよばれていた。大手のスーパーで普及していた。）場合、キーパンチャーのそれをはるかに上回わり、２人交替制の場合でも、キーパンチャーの１日分にほぼ相当する（参、表２－４）ことが明らかとなった。

２人交替制では１レジ作業者が登録する顧客数は１日当り 250～300 人で、取り扱い商品数は１日当り 2300～3500 個であった。顧客１人当りの購入商品数は約 7 個で、１商品当りの打鍵数は約３回であった。

表２－４　１日当りの各手指の打鍵回数と筋力の指標

手指	I		II	III	IV	尺側手掌	合計(s)
	価格キー	部門キー					
打鍵数 (n)	3110	952	1687	2691	2817	473	11730
100 ・ n／s(%)	35		14	23	24	4	100
筋負担の指標(f) (kg)	1870	2290	1010	1620	6760		13550
100 ・ f／s(%)	30		8	12	50		100

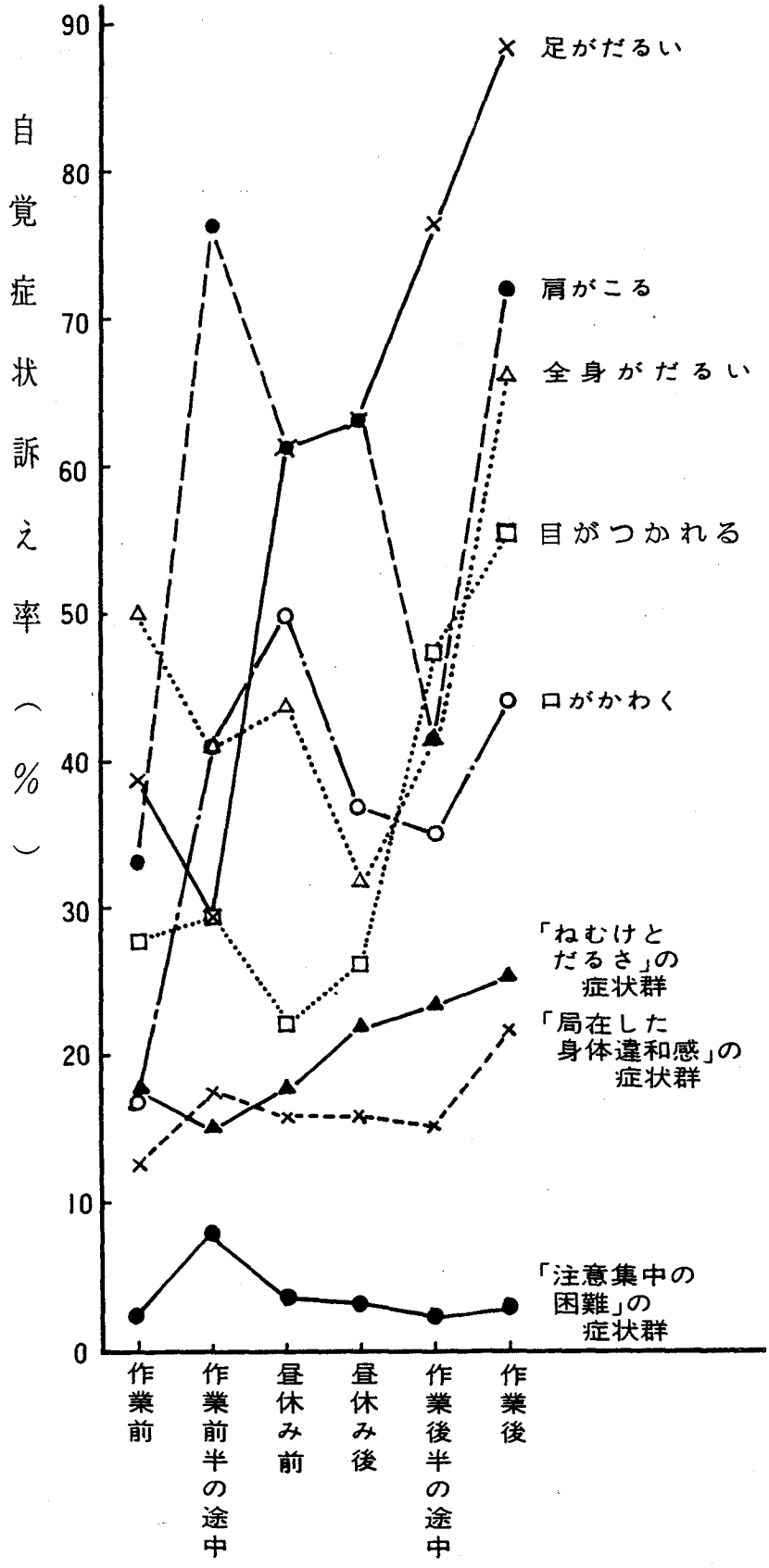


図2－9　Rスーパーマーケットの金銭登録作業者の疲労自覚症状

第三節　心理的生理的負担

1．自覚症状

日本産業衛生学会産業疲労研究会(1970)方式の「自覚症状しらべ」による７人のレジ作業者についての調査結果は、図２－９のとおりである。この図から、疲労の第１成分「ねむけとだるさ」の症状群および第３成分「局在した身体異和感」の症状群の訴え率が、作業経過とともに増加していることが明らかである。徹夜時や極度のへばり時に増加するといわれる第２成分「注意集中の困難」の訴え率は、全般的に低い。訴えの中で「全身がだるい」「目が疲れる」の他に「足がだるい」がとくに多いが、これは、レジ作業が立位で行なわれていることに関連すると考えられる。また第３成分における「肩がこる」「口がかわく」の訴え率も高く作業経過に伴う訴え数の増加傾向は、キーパンチャーの場合よりも顕著である。「口がかわく」の訴え傾向は、レジ作業者に特に多いが、これは、打鍵時に売上商品の価格および部門を復唱すること、顧客とのサービス上の会話の頻繁さなどと関連すると考えられる。

2．フリッカー値

光源をある速さで点滅させると、ちらついて見える。この点滅の速さすなわち周波数をさらに高めていくと、あるところからちらつき感が消えて、一様な連続した光として感じられるようになる。この現象をちらつきの融合といい、融合をおこし始めた時の点滅の周波数を、フリッカー値(Critical Flicker Fusion Frequency 略して CFF) という。このフリッカー値は、大脳新皮質の興奮性に依存して変動するから、大脳の活動水準の指標のひとつでもあり、たんに視覚機能にとどまらず、外界の種々の作用要因に対する、人間の精神的反応の総合された側面を表現しているといわれている。

フリッカー値が労働による疲労の検査に利用され始めたのは、1940 年頃からである。疲労測定の方法として日本では、融合状態から頻度を下げて（下降法という）ちらつきの出現点を求めてフリッカー値と呼ぶことが多い。

本調査では点セクター式フリッカー値測定器（日本産業衛生協会産業疲労研究会、1952）を用い、測定時に、各被験者を下降法で７回測定し、最大値を棄却し、５測定値の平均を求め、フリッカー値とした。

フリッカー値の測定は、K店 9 名中 7 名について実施した。各作業者別に作業開始直前のフリッカー値を基準にして、各測定時点のフリッカー値の変化率を求め、その結果を図２－１０に示した。フリッカー値は、16 時を過ぎると、作業者 7 名中 5 名（71 %）が 7 % 以上の低下を示した。これは、レジ作業が、中枢神経系の活動水準の著しい低下を引き起すことを示している。

３．心拍数

図２－１１はレジ作業者 MI と SN の２人１組によって行なわれたレジ作業における両者の心拍数、フリッカー値とその金銭登録機の商品取り扱い数を示している。両者とも始業後 1～2 時間に心拍数の増加傾向がみられ、さらに 16 時以後にも増加傾向がみられた。両者とも、包装作業時より登録作業時に心拍数が多かった。午後の休憩開始直後では、心拍数は著名な減少傾向を示したが、作業終了直後にはその傾向は認められなかった。作業負荷が増加すれば心拍数は増加し、回復にもより時間を要するという考え方にもとづけば、金銭登録機操作の方が包装作業より負担が大きく、またレジ作業の総負担が大きいといえる。

４．筋電図

図２－１２は、筋電図による各部位の筋肉の運動学的な解析のためにレジ作業者 ST の作業中の僧帽筋、前腕伸筋および前腕屈筋の筋電図と商品部門別キーの打鍵状態の記録の一部を示したものである。図中のＡは立位姿勢での客待ち時、Ｂは打鍵時の筋電図を示す。商品分類キーの打鍵カウンター信号の図上の矢印は、【ミ】のキーが打鍵されたこと、小さい変動は【ミ】のキー上に指が置かれていることを示している。これらの測定結果でも、商品を連続して登録する１商品当りの打鍵所要時間は約 1.5 秒であり、16 mm 映写フイ

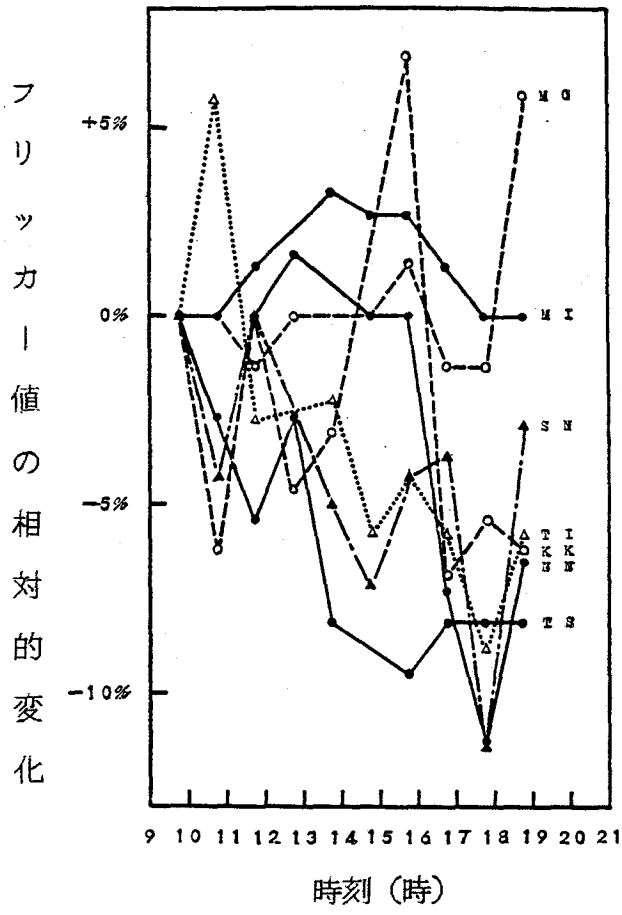


図２－１０　金銭登録作業者（７人）のフリッカー値の作業前値に対する相対的変化、各グラフの添字は被験者コードを示す

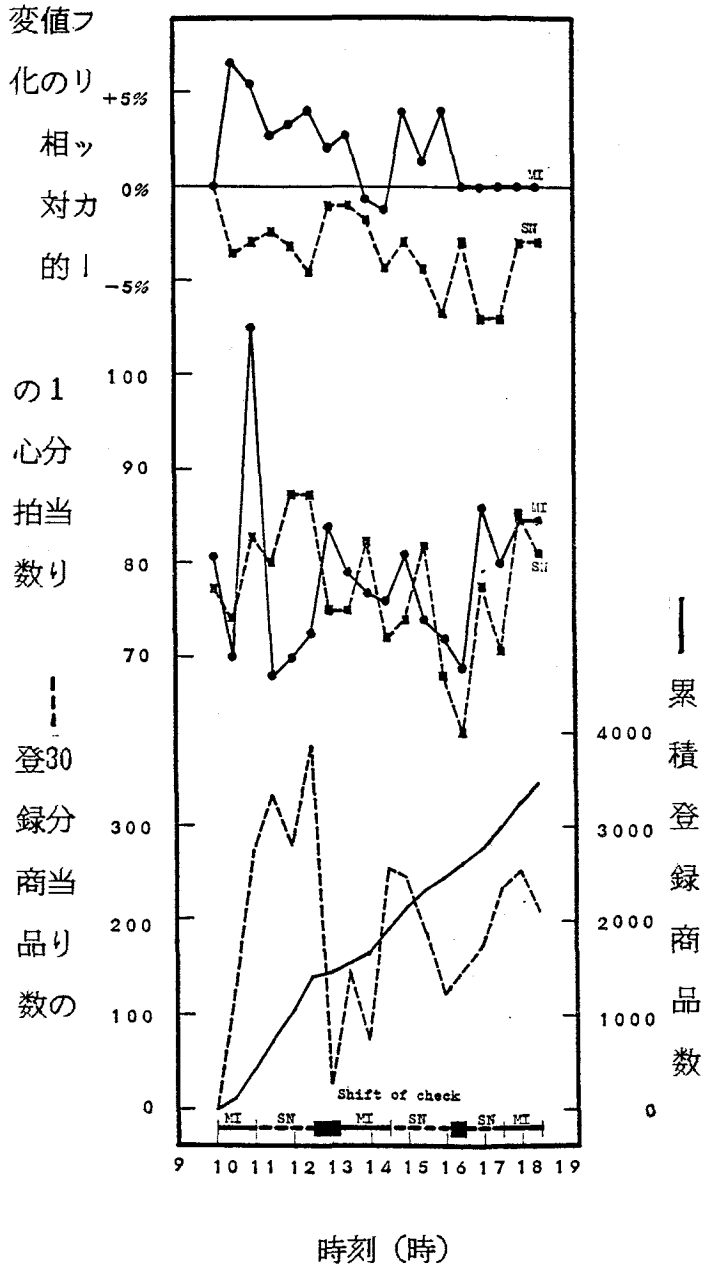


図２－１１　某金銭登録機付金銭登録作業者２人のフリッカー値、心拍数、作業量の時間的変化

■：金銭登録機稼動の休止

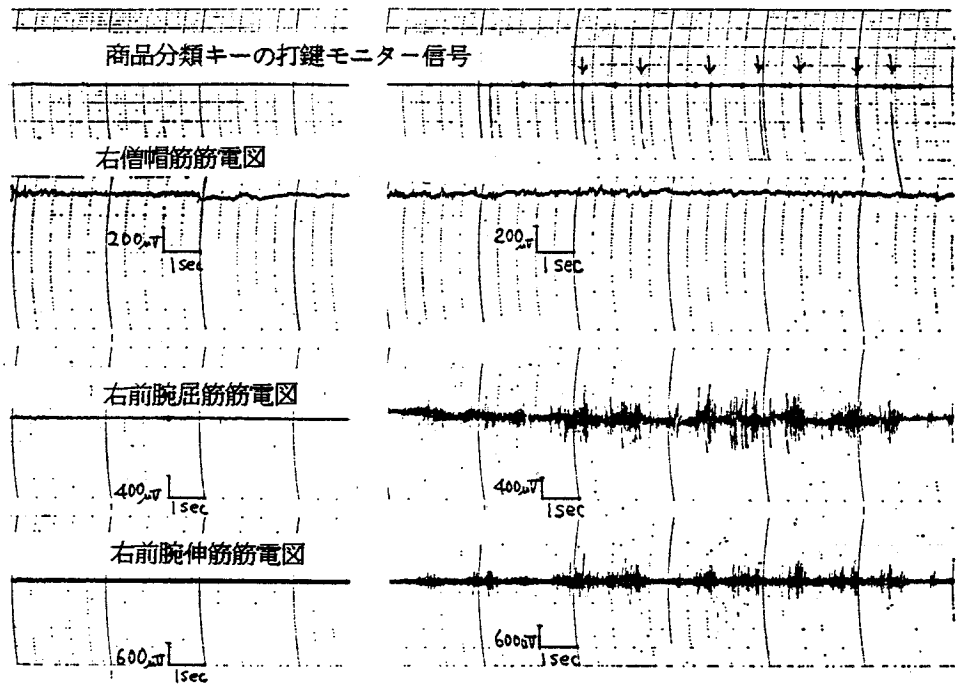


図２－１２　金銭登録作業者の筋電図

被験者：ＳＴ（２０才、女）

ルムを用いた手指運動時間の分析結果とも一致している。打鍵状態図に示された手指による打鍵動作に対応して前腕の伸筋、屈筋に群発状の筋電図がみられた。しかし、僧帽筋等にはこのような顕著な筋電図は記録されておらず、これらの部位の活動は比較的静的であった。また、前腕の筋電図は、価格キーよりも商品部門別キーの方が大きく、前述したキーの作動力の大小と筋的負担の大小が対応していることが示された。さらに、これら筋電図の定量的解析を進めようとしたが、金銭登録機のモーター稼動時のノイズの混入等により、この調査でのアナログデータレコーダの記録信号については実施できなかった。

第四節　結論ー金銭登録システムの改善

1．　結論

金銭登録機操作は、主として視覚により商品に貼付してあるラベルから小さい数字、文字を認知することと、右手の手指を絶えず基準位置におくようにしながら、かなりの筋力を発揮し、できるだけ迅速かつ正確に対応するキーを打つことから成っている。したがって、金銭登録作業の生体への負担は、

1）　打鍵、商品移動などに使用される手、指、腕、肩、頸などの局所筋に対する負担
2）　多種多量の商品の弁別、キーをみないでなされる打鍵動作、顧客、包装従事者などの対人関係の維持などによる神経的、精神的負担
3）　狭小な作業空間における立位姿勢の長時間維持、調節できない作業面の高さや角度に対する拘束姿勢、体をねじることなどによる負担
4）　騒音、冷暖房、照明、気流などの作業環境による心身負担

などから成っている。これらの生体への負担による疲労が、作業量、1日の総作業時間、一連続作業時間、作業密度、休憩などの作業編成の因子と疲労回復条件、健康管理体制、労働者の全般的健康状態などによって、蓄積ないし固定化傾向を強め、慢性化、非可逆化、持続化し、ついには、病的状態におちいると考えられる。レジ作業はとくに上肢の反復使用による負担が大きいため頸肩腕障害を発症しやすく、適切な作業管理が必要である。

したがって、レジ作業者の頸肩腕障害などの職業性健康障害、疾病の予防のためには、

これらの点について十分な対策が考えられねばならない。

2. 金銭登録システムの改善

本研究により、金銭登録作業の負担要因にもとづいて金銭登録システムの改善のためには以下のことが考えられなければならないことを明らかにした（Mito, Nakaseko, Nishiyama, Hatta and Hosokawa, 1978, 1979; 西山、中迫、細川、1979）。

1） 金銭登録機の改善

打鍵動作自体の筋的負担の軽減のためにキー作動力を下げること、キーの数やキー間隔、配置の改善、鍵盤傾斜角を小さくすること、キートップの形状をレジ作業者が打鍵しやすいものに改善

登録時の精神的負担の軽減のために、計算機能、記憶機能の向上

視覚的負担軽減のために、登録価格、部門の打鍵内容情報の表示位置、表示方式の改善

金銭収納用の引出しの位置、構造、形状の改善、出力されたレシートの手によるカットの負担軽減

2） 作業空間の問題としては、椅子がない、さらにチェックアウト空間が狭く金銭登録機、チェックアウト台、バスケット置き場などの配置の組み合せが悪い、チェックアウト台の高さ・幅がレジ作業者の身体に合っていない、コンベヤベルトがないため商品の取り扱い・移動は全て手で行なわねばならないなどが明らかにされた。

3） さらに、商品の価格、種類の表示方法にも問題があった。すなわち、ラベルの字が小さく、ラベルの枠やマークで視認対象文字がマスクされる。ラベル貼付位置、方向が不定。多品種の商品で同種商品でも重量により価格が変動する。分類方法や値付けが複雑で、打鍵数を多くする値付けが多いなどが指摘できた。

尚、当時の金銭登録機の大半は欧米からの導入によるものであり、金銭登録機メーカー

は、「登録しやすいキーボード角度」「操作しやすいボタン間隔と軽いタッチ」「目の疲労を防ぐ配色」「人間工学に基づく設計」などという宣伝も行なっていた（日本ナショナル金銭登録機株式会社、1970 など）が、欧米のカタログ等の翻訳調のものが多く、作業量、交代制、休憩などの作業編成について若干の推奨がなされていたものの、機器に関しては日本の実情に即した研究として見るべきものがなかった。そのような状況のもとで本研究により機器類そのものの問題点が明らかされたのである。これらの研究成果は、日本産業衛生学会職業性頚肩腕症候群委員会の金銭登録作業に関する勧告(1973)に採用され、労働省の金銭登録作業に関する行政通達の発令を促進した。そして、レジ作業者用の特殊健康診断が就労時、及び定期に実施され始め、まず、早期発見、早期治療の体制がつくられていった。このおかげで、当初の健診で多数みられた頚肩腕障害の重症患者も健診の回を重ねるにつれて漸減していった。

機器等の改善についてみるならば、1970 年頃トランジスター式の電卓が普及し始め、金銭登録機のエレクトロニクス化の開発もされ、1973 年末頃から電子レジスターが大手のスーパーマーケットでも試用され始めたことがあげられる。これはキー作動力が約 100 g 、キー配列もテンキー式、文字表示も電子化されていた。当初、大手メーカーも、スーパー経営側も機械式に比べて高価な電子レジスターはとても普及しないと乗り気でなかった。しかし、エレクトロニクスの発展を背景にして廉価なレジスターが大量生産され、電子レジスターは急速に普及した。その結果、機械式レジスターが駆逐され、POS 化（ Point of Sales の略、販売した場所、時間で即座に取引情報を収集し、中央の計算機で処理することを意味する）の道が開かれるという形で金銭登録機の問題点の一つが解決された。

しかし、著者らが独自の研究に基づいて提案し、又、欧米では、早くから常態化していた椅座作業によるコンベヤーを利用した金銭登録台の採用等の人間工学的な改善は、一部スーパーマーケットが試みたものの普及せずに今日に至っている。

このように、機器・システムの改善による労働負担の軽減が進んでいない背景には、レジ作業者のパート化が急速に進められ、社会全体の労働力も過剰傾向におちいるなかで、レジ作業者における労働力不足が解消され始めたことがあげられる。

こうした状況の変化により、1970 年代初頭にみられ作業編成にも著しい変化がおこった。そしてスーパーマーケットにおいて重症な頚肩腕障害患者が発生することはまれになった。　レジ作業における頚肩腕障害の研究方法は、著者らによる電話交換(細川、中迫、

西山、1974など)、ボールペン複写や OCR カード記入(西山、中迫、細川、1976； 中迫、西山、細川、1976)、一般事務作業(西山、中迫、細川、1976 など)、保育所保母(細川、中迫、西山、1977 など)、障害児介護(Nishiyama, Tokunaga, Kondo, Nakaseko, and Hosokawa, 1978 など) 等における労働負担の生理学的評価、頚肩腕障害発生の実証、病像、予防対策についての一連の研究に受けつがれ発展させられ、社会的に認められないで、苦しみ悩んでいたこれらの職種の頚肩腕障害罹病者の救済に役立てられ当該職種の職業病としての認識を大きく促進した。また、それぞれの職種についての具体的な予防対策の提案により、職場での対策が促進された。

文　　献

細川汀、中迫勝、西山勝夫（1974）：スーパーマーケットにおけるレジスターの作業負担とチェッカーにおよぼす影響、第７報、通達施行後の健康上の問題点、第 47 回日本産業衛生学会。

細川汀、中迫勝、西山勝夫（1974）：電話交換の頚肩腕障害多発職場の実例、第 47 回日本産業衛生学会。

細川汀、中迫勝、西山勝夫（1977）：保育労働者の労働負担軽減に関する研究、昭和 52 年度科学研究費補助金研究成果報告書。

久保田重孝（1969）：パンチャーの手指障害、職業病とその対策： 569 、興生社、東京。

Mito, H., Nishiyama, K., Nakaseko, M. and Hosokawa, M. (1978) : Hygienical approaches to the employees working on cash registers in super markets. Proceedings of XIX International Congress on Occupational Health, 436-437.

Mito, H., Nishiyama, K., Nakaseko, M. and Hosokawa, M. (1979) : Problems that cause health hazards to super market cash register operaters. Archiv za higijenu rada i toksikologiju, 30(suppl), 1259-1269.

中迫勝、西山勝夫、細川汀（1972）： スーパーマーケットにおけるレジスターの作業負担とチェッカーにおよぼす影響、第２報、レジスターの作業負担、第 45 回日本産業衛生学会。

中迫勝、西山勝夫、細川汀（1976）：OCR カード記入作業における眼球運動電位の解析、第 46 回日本衛生学会総会。

日本ナショナル金銭登録機株式会社(1970)： NCR 22-40 CASH REGISTER, NCR 22号-801型の金銭登録機等のカタログ。

日本産業衛生学会「頸肩腕症候群」委員会（1973)：昭和 47 年度報告書、4-6。

日本産業衛生協会産業疲労研究会（1952）：セクター式フリッカー値測定装置規格（案）労働科学 29、305-306。

西山勝夫（1971)：スーパーマーケットのチェッカーの労働実態、日本産業衛生学会近畿地方会事務作業者研究会資料。

西山勝夫、中迫勝、細川汀（1972)： スーパーマーケットにおけるレジスターの作業負担とチェッカーにおよぼす影響、第１報、労働実態と健康状態、第45回日本産業衛生学会。

西山勝夫、中迫勝、細川汀 （1973a)： スーパーマーケットにおけるレジスターの作業負担とチェッカーにおよぼす影響、第３報、Ｎスーパーの健康調査結果について、第46 回日本産業衛生学会。

西山勝夫、中迫勝、細川汀 （1973b)： スーパーマーケットにおける労働とその健康への影響（第１報）金銭登録機取り扱い作業者の労働と労働負担：産業医学、15、229-243。

西山勝夫、中迫勝、細川汀 （1974)： スーパーマーケットにおけるレジスターの作業負担とチェッカーにおよぼす影響、第６報、労働省通達「金銭登録作業の作業管理について」施行後のチェッカーの労働条件と健康状態、第 47 回日本産業衛生学会。

西山勝夫（1975)：レジ作業の生理的負担の調査方法について、日本産業衛生学会第 5 回頸肩腕障害研究会資料。

西山勝夫（1976）：レジ作業者の生理的負担の調査方法について、産業医学、18、66-67。

西山勝夫、中迫勝、細川汀（1976）：筆記作業の生体負担、第 46 回日本衛生学会総会。

西山勝夫、中迫勝、細川汀（1979）：レジ作業者の労働負担と労働条件、青山秀康編著：頸肩腕書障害、125-139。

小山内博（1963）：キーパンチャーの手指障害の理解のために、労働の科学、 18(6)、55-57。

産業疲労研究会自覚症状調査検討委員会（1970）：産業疲労の「自覚症状しらべ」（1970）についての報告、10 、（資料）試案による疲労自覚症状の訴え率、労働の科学、25(6)、62。

スエダ事業本部（1970）： スエダ・チェッカー教育マニュアル(チェッカー教育資料２)。

通商産業大臣官房調査統計部(1965、1967、1969、1971)：わが国の商業、大蔵省印刷局、東京。

労働省委託「頸肩腕症候群」委員会（1973）： 金銭登録作業者の作業基準について、昭和 47 年度労働省委託「頸肩腕症候群に関する研究」委員会（日本産業衛生学会頸肩腕症候群委員会を兼ねる）報告書、11～20。

労働省労働基準局（1964）：キーパンチャーの作業管理について、 基発第 1106 号。

労働省労働基準局（1973）： 金銭登録作業の作業管理について、 基発第 188 号。

労働省労働基準局（1973）： 金銭登録作業に従事する労働者に係わる特殊健康診断について、基発第 717 号。

第三章

動力工具取り扱いによる局所振動障害

概要

第一節では、動力工具の開発・導入にともなう局所振動による健康障害発生のひろがり、及び、局所振動による障害の研究の問題点を概括し、動力工具、及びその作業編成の改善の指針を考える前提としての生理学的根拠の解明が必要なことを示した。

第二節では、局所振動暴露によって生じる慢性的ないし急性的な知覚異常の程度とその感覚生理学的研究の問題点を概括し、振動暴露による振動覚閾値上昇の研究の意義を明らかにした。

第三節では、著者らが行なった振動暴露による振動覚閾値上昇の実験的研究について述べる。本研究の特徴は、動力工具取り扱いの実態に即した振動暴露を行なうために、特別に試作したハンドルを把持させ、その把持力と牽押力（ひいたり、おしたりする力）を調節させながらハンドルを加振した実験方法の確立があげられる。その主な結果は、振動覚閾値上昇は、

1　暴露振動の周波数に依存し、200～250 Hz で最大となる。

2　暴露振動の振幅のべき乗に比例して大きくなる。

3　振動するハンドルを把持する力が大きいと大きくなる。

4　振動暴露後の時間経過とともに指数関数的に小さくなり回復する。

ということである。

得られた実験データをもとに暴露振動の周波数が　8～2000 Hz の場合についての、振動覚閾値上昇の大きさなどを良好に近似する数式モデルを確立した。

第四節では、動力工具の無振動化、自動化の意義と課題を明らかにした。

本研究は、動力工具の取り扱いに即した振動暴露の実験法及び振動覚閾値上昇の推定式モデルを確立したこと、それにより振動の生理学的影響の研究方法、並びに把持力が軽減されるような振動工具の改善の必要等を明示した点で多大な意義があったと考えられる。

尚、本章は、労働環境衛生学の国際学術誌、International Archivs of Occupational and Environmental Health（西独）に 1981 年に掲載された原著論文

Nishiyama, K. and Watanabe, S.: Temporary threshold shift of vibratory sensation after clasping a vibrating handle, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 49, 21-33.

に基づいて記されている。

第一節　工具の動力化と局所振動障害の発生

生産過程の機械化あるいは自動化の流れの中で全体のスピードに合わせていくために従来人力に依存していた部分を動力化したりあるいは工具の使い方を効率的にするために手持動力工具の導入をはかることが、技術的な手段としていろいろ工夫されてきた。

わが国では、特に 1955 年ごろから、いろいろな動力工具が大量に生産工程の中に導入され始め、人力依存部分の労働の能率化がはかられるとともに、人々を従来の重筋肉労働から解放するなどの労働負担の軽減もみられた。しかし、このような動力化により、多くの人々が労働過程で機械振動（以下振動という）に暴露されることになった。人体への振動暴露は、大別すると、全身的なものと、手、腕系などへの暴露のような局所的なものに分類される。多かれ少かれ、動力工具は、手、腕系に振動を加えるものである（そのために振動工具とも呼ばれる）が、振動の大きさ、周波数などの性質は工具によって異なる。また工具の種類によっては、取り扱う人自体が、たとえば、削岩機取り扱いのときのように機械を固定する支柱となって操作することがあるし、チエンソー取り扱いのように傾斜地で不自然な姿勢で振動に暴露されることもあるので、人体への振動の伝播の仕方とその影響は工具の特性だけでは決まらない。ところがこのような動力工具およびその取り扱いに安全衛生条件がともなわず、我が国では局所振動障害の多発をみた。

動力工具を使う労働者に職業病としてあらわれる障害、特に手を中心にした障害が起っ

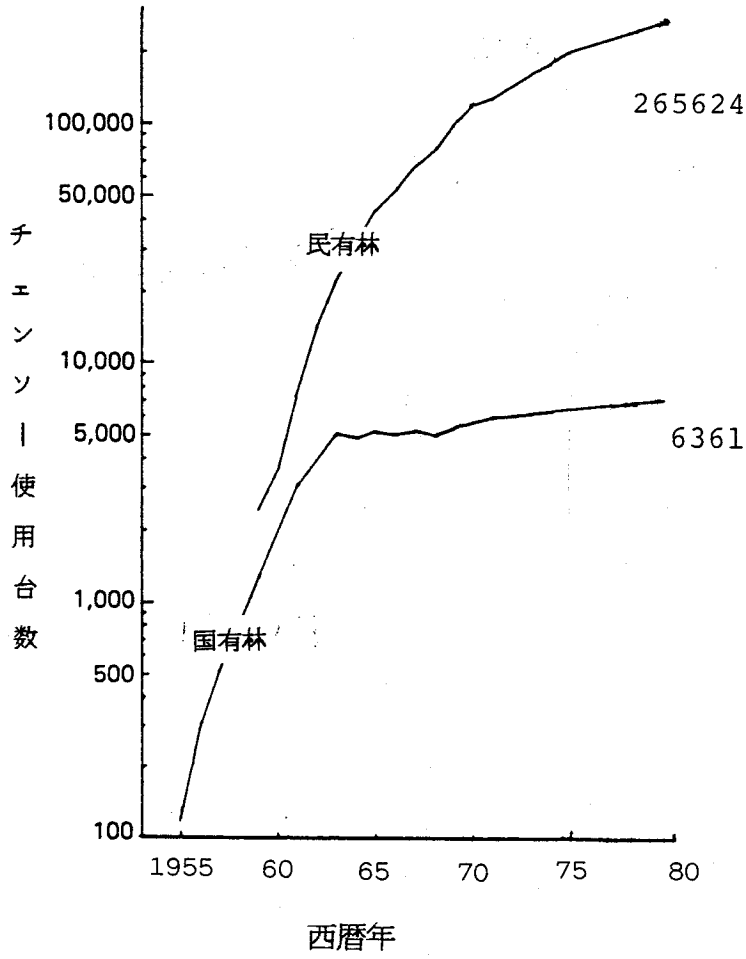


図３－１　林業におけるチェンソー数の増大

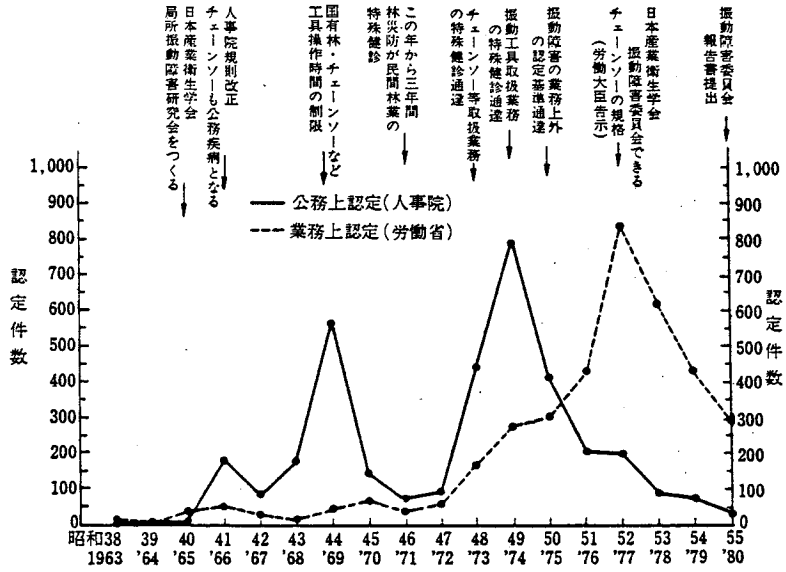


図３－２　業務上（労働省関係）、公務上（人事院関係）振動障害認定件数の年次推移　（三浦（1982）より再掲）

表3－1　産業別・工具別の主な振動障害調査報告

（1970～1978）

工具	職種	地域	有症率 レイノー現象	有症率 手指しびれ	調査例数	調査年次	報告者
刈払い機	国有林造林手	九州	2.6%	9.6%	641	1974	二塚他
	民間林業造林作業者	関西	5.4	42.8	282	1978	岩田他
	地方公務員道路工手	関西	3.7	48.2	164	1977	岩田他
	〃	九州	1.7	15.6	173	1978	高松他
	酪農民	東北	3.7		110	1978	中屋他
チェンソー	国有林伐木造材手	九州	30.8	61.4	1011	1974	二塚他
	〃	四国	49.1	66.1	171	1974	五島他
	〃	東北	32.9	65.7	70	1975	上畑他
	〃	中国	14.9	42.0	67	1976	青山他
	民間林業伐木造材作業者	九州	23.3		728	1970	東郷他
	〃	関西	37.5	61.6	331	1971	細川他
	〃	中国	36.9	43.3	157	1971	大崎他
	〃	北海道	51.7		323	1972	渡部他
	〃	四国	39.0	63.5	255	1973	五島他
	〃	中部	35.1		200	1973	西郡他
	〃	関西	28.5	64.1	365	1974	市場他
	〃	中国	38.3	34.1	551	1976	大崎他
	〃	東北	18.0	36.5	728	1977	中屋他
	〃	関西	18.2	56.6	380	1978	岩田他
タイタンパ	国鉄保線作業者	関東	0.7	27.9	143	1976	上畑他
	〃	四国	5.8	35.3		1978	五島他
	〃	中国	2.2	33.8	284	1978	青山他
	〃	関西	0.6	16.9	384	1978	青山他
さく岩機	鉱山，さく岩夫	中部	34.8		89	1972	富田他
	〃	中国	58.9		73	1972	青山池
	〃	東北	41.9	85.6	229	1974	南雲他
チッピングハンマー	採石，石工	九州	42.0	66.0	58	1973	高松他
	〃	中国	34.4	19.7	61	1974	大崎他
	〃	中部	44.4		90	1975	岩田他
	〃	関東	39.4	40.1	71	1976	三浦他
	〃	東北	20.1		314	1978	中屋他
ピックハンマー	土木トンネル工事労働者	東北	7.4	26.2	187	1977	臼谷他
エアハンマー	製鋼所	関西	19.1	52.1	94	1970	冨永他
サンドランマー	製鋼所	関西	9.9	42.9	91	1970	冨永他
エアグラインダー	製鋼所	関西	8.6	39.7	232	1970	冨永他
	〃	関東	14.6	19.5	41	1976	三浦他

工具	職種	地域	有症率 レイノー現象	有症率 手指しびれ	調査例数(名)	調査年次(年)	報告者
エアカッター	製鋼所	関西	18.8%	79.2%	96	1970	冨永他
アングルサンダー	製鋼所	関西	5.1	25.6	39	1970	冨永他
エアグラインダー サンドランマー	製鋼所	関西	50.0	35.7	28	1973	細川他
チッピングハンマー サンドランマー	製鋼所	関東	16.7	75.0	24	1976	上畑他
チッピングハンマー エアグラインダー	製鋼所	関西	32.7	56.5	104	1977	青山他
エアグラインダー ニューマチックドリル リベットガン	製鋼所	関東	31.0	25.0	65	1974	戸田他
	製鋼所	東北	19.7	35.2	71	1977	鈴木他
チッピングハンマー エアグラインダー サンドランマー	製鋼所	東海	64.0	60.0	25	1977	松本他
	製鋼所	関西	3.3	11.2	1124	1977	渡部他
リベットガン	製鋼所	関西	3.8	26.3	133	1977	岩田他
ジェットジゼル ベビーグラインダー ディスクグラインダー	造船工場 研磨・錆おとし	関西	4.6	17.9	240	1977	渡部他
インパクトレンチ ハラ	コンクリートヒューム管製造工	関西	13.9	41.7	36	1978	渡部他
	〃	東北	12.7		71	1978	中屋他
グラインダー等手持工作工具	木工・金工製作所	北海道	0.6	2.7	676	1978	渡部他
電動大工道具	大工	関西	3.0	40.9	66	1978	岩田他
動力ミシン	製縫工場女工	関西	3.3	32.7	245	1978	岩田他
オートバイ	郵政外務員	中部	2.7	12.2	2314	1978	松本他

（日本産業衛生学会振動障害委員会報告（1980）より再掲）

表3－2　振動障害（又はその疑い）発生報告のある機械・工具

機種			台付	手持	乗用	回転	打撃	電動	圧搾空気	エンジン	産業
動力工具操作業務	労働省による業務範囲	サンドランマー		◎		●	◎	●	◎		主として金属・製造
		グラインダー	◎	◎		◎		◎	◎		
		コーキングハンマー		◎			◎		◎		
		ハンドハンマー		◎			◎		◎		
		スケーリングハンマー		◎			◎		◎		
		エンジンカッター		●		●				●	
		鋲打機		◎			◎		◎		
		ピックハンマー		◎			◎		◎		土木・運輸
		コンクリートブレーカー		●			●		●		
		タイタンパ		◎			◎	◎			
		さく岩機	◎	◎			◎		◎		鉱業・採石
		チッピングハンマー		◎			◎		◎		
		チェンソー	●	◎		◎		◎		◎	林業・一部土木
		ブッシュクリーナー		◎		◎		◎		◎	
		木材皮はぎ機		◎		◎		◎			
動力工具操作業務	労働省指定範囲外の業務	ドリル		◎			◎	●	◎		金属・製造
		ジェットジゼル		◎			◎		◎		
		インパクトレンチ		◎			◎	◎	◎		
		ポリッシャー		●		●		●			
		カッター	◎			◎		◎			木工・金工・建設
		カンナ		◎		◎		◎			
		ジグソー		◎		◎		◎			
		丸のこ	●	●		●		●			
		みぞきり		●		●		●			
		ウィンチミキサー	●			●		●			
		芝刈機	●			●				●	農業・林業
		耕運機	●		●	●				●	
		集材機	●		●	●				●	
		剪枝機	●	●		●		●		●	
		バイブレーター		●			●		●		土木・製造
		動力ミシン	◎			◎		◎			製縫
接触	定置式機械への	フレクションプレス	●				●		●		金属・製造
		スウェージングマシン	●			●		●			
		旋盤	●				●	●			
		発泡スチロール粉砕機	●			●		●			
		帯のこ	●			●		●			林業
		貝殻掃除機	●			●		●			漁業
（全身十局所振動）	自走式機械・装置	オートバイ			◎	◎				◎	サービス・郵政
		単車			●	●				●	サービス
		バス・トラック			●	●				●	交通運輸
		動力渡船			●	●				●	
		ハンドドーザー			●	●				●	土木・建設
		ブルドーザー			●	●				●	
		森林軌道			●	●				●	林業

◎　ケースレポート・疫学調査双方あり　　●　ケースレポートのみ

（日本産業衛生学会振動障害委員会報告（1980）より再掲）

てくることは、イタリアの Loriga(1911) が圧搾空気式削岩機、圧搾空気工具を使う石切工について報告したのが最初といわれている。その後、アメリカの石切工について、Hamilton(1918)、ドイツの鋳物工について、Seyring(1930) などの報告があり、Hagen (1947) によれば 1929 年にドイツで振動障害の業務上認定・労働災害補償がされ始めてから 10 年余りの間に、認定患者が 10～20 倍にふえた。

日本では、村越(1938) が振動障害の報告を圧搾空気工具を使用する鋲打ち工の症例について行なったのが最初である。その後、炭鉱の削岩夫について石西(1939) により、飛行場の鋲打ち工について木村ら(1943) により、造船工について松藤(1943) により報告がなされた。

このように、ある種の動力工具は、ずい分古くから産業現場に導入され、また発生する振動が著しく大きい工具による障害は早くから認められていた。その主な症状は、末梢血液循環の異常、知覚の異常、筋肉の異常、骨や関節の異常、頭痛、不眠、神経衰弱様症状というような中枢神経にかかわる症状にまでいたることが明らかにされていた。しかし、わが国で振動障害が大きな問題になり始めたのは、図３－１に示すように林業にチェンソー（ガソリン・エンジン式の動力鋸）が導入された後、林業で多数の白ろう病（主症状が手の白いろうそく様の白指発作であったためこの呼称が用いられた）患者が発生してからである(図３－２)。

1970 年代になって、林業以外でのチェンソー以外の動力工具でも振動障害の症例が報告されるようになった。その後振動に暴露される業務はますます多様化しつつ、増加し(例えば、福地、渡部、西山、細川、広沢、1981)、オートバイの運転者には全身振動と共にハンドルからの局所振動によって同様の障害がおきることなども確認された(Fukuchi, Hosokawa and Nishiyama, 1982 など)。日本産業衛生学会振動障害委員会(1980) は、我が国における 1970～1978 年の間の産業別、工具別の主な振動障害および振動障害（又はその疑い）発生報告のある機械、工具を表３－１、表３－２のごとく概括している。

振動障害は、白ろう病としてチェンソー作業者で多発して以来職業病としての認定補償が難渋を極めた。このような事態は、チェンソーとは異なる動力工具取り扱いで、振動障害患者が発生するたびにみられた。また、多数の重症患者が治療効果をえられないまま苦しんでいた。かかる状況のもとで、局所振動障害の研究は、多発の実態を明らかにする疫学的調査、振動の測定や生理的・心理的負担の測定、病像、診断方法、治療方法の確立などに重点が向けられた。

これらの研究により、振動障害の諸症状は、その症期によって、その症状の発現の仕方が異なることなどが明らかにされ、表３－３のような症状分類がなされるようになった。また、上記の研究をもとにして予防対策もいくつか提案されてきた。

だが、前述の事情もあり、予防対策の要である動力工具の発生振動の規制についてその根拠を与え、また、振動障害の発症機構の解明に役立つ、振動暴露の影響に関する生理学的研究は非常に少なかった。

局所振動の許容基準について、日本産業衛生学会は、ＩＳＯ（International Standard Organization）に準拠している。これは、振動の周波数と振幅及び、暴露が間欠的か連続的かの条件により１日当りの暴露時間を制限しようとするものである。従来、これら許容基準の制定や改訂の根拠は、等感覚振動覚曲線（Miwa、1967）や局所振動障害発生の疫学データ(Louda, 1969）の総合によるとされているが、その経緯は明らかにされていない。1976年に、労働省はチェンソーの振動を全周波数域で３ｇ以下と決めたが、その根拠も明らかでない。しかし、許容基準は動力工具や作業編成の改善の具体的指針であり、予防にとって重要な役割を果しており、その生理学的根拠を明らかにすることには重要な意義がある。

表３－３に示されているように、振動障害の初期から、振動感覚、痛覚などの知覚の閾値上昇（鈍くなること）ないし過敏が、身体諸部位の痛み、しびれ、だるさなどの自覚症状、末梢循環障害とともに発現している。これは振動障害の特徴の一つである。したがって、知覚異常は、振動障害の早期発見、診断、治療効果の判定、工具の改良・整備や予防対策の効果の評価の指標として、自覚症状、末梢血液循環とともに重視され測定・分析されてきた。そこで、以下では、生理学的に十分解明されていない振動暴露による知覚異常に注目して行なった研究について述べる。

第二節　局所振動の感覚生理学的影響

１．はじめに

振動障害の特徴は、障害の初期から知覚異常が身体部位の痛み、しびれ、だるさなどの

表 3－3　症度分類

(1) 治療通達分類 〔ここにあげる症度分類は，認定基準に基づいて業務上の疾病と認定された労働者について，その治療方針を立てるための目安として主に自覚症を中心に作成したものである。〕		(2) アンドレワ・ガラニーナ分類 * 〔国際的にもっとも権威のあるものとして認められている。〕		(3) 林災防検診委の分類 〔(2) をわが国の実情に適用しようとする目的で作られたものである〕	
症度 I	レイノー現象：陰性 その他の症状：手指・前腕のしびれ，不快感，痛み等が間歇的に現われ，軽度の手掌発汗を伴うことが多い。	第一期	症状の少ない初期段階で代償性がある。時々痛みが起ったり，感覚が過敏になったり，にぶくなる。とくに振動覚の低下がある，爪床毛細血管は痙縮像を示す。	第一期	指・手のだるさ，いたみ，しびれなどが時々起こり知覚異常（どんま，過敏）があらわれたり，肩，頚こりや腕・腰のだるさなどを訴える
症度 II	レイノー現象：時々出現 その他の症状：手指・前腕のしびれ，痛み，冷え，こわばり，筋肉痛，肩こり等が増強し，持続的となる。握力等上肢の筋力低下も現われる。しばしば頭重感や頭痛を訴え，手掌発汗で中等度に増強する。	第二期	痛みや感覚異常は消退しなくなる，指や手の皮膚温が低下し，発汗やチアノーゼがみられる，爪床毛細血管の痙縮像は著明になり，知覚鈍麻は指端から次第に拡がり手袋状にもなる，筋の反射的興奮性が亢進する，この時期までの症状は完全に可逆的で，振動暴露中止や適切な治療で完全に回復しうる。	第二期	上記の訴えが持続，多発し，部位が広がる，指・手・足が冷えたり，変色することもある。頭痛，めまい，いらいら，多汗，物忘れなどの自律神経失調様症状もあらわれやすい。機能的失調が多く，予防・治療が必要である。
症度 III	レイノー現象：多発 その他の症状：手指・前腕の上記症状は更に増強する。 軽度の筋萎縮，時には尺骨神経麻痺がみられる。肘関節等の骨変化がしばしば認められるようになる。 手掌発汗は高度となる。 不安感，抑うつ状態，睡眠障害等の神経症様症状も現われる	第三期	蒼白発作がおこるチアノーゼをみることもある。動脈血流量は減少する。毛細血管像には痙縮型と弛緩型が混在する。腕の痛みや皮膚知覚の鈍麻は強まる。筋の変性がおこり，筋電図に異常をみる。神経衰弱状態など中枢性の症状もあらわれる。内分泌機能の異常も認められる。この時期には病理的変化が固定化してくるので経過が長いものでは治療してもなかなかよくならない。	第三期	上記の症状が進行し，血管運動および栄養障害がおこり，レイノー現象（白ろう現象）がおこる，腕のしびれ，いたみ，知覚どんまが強まり，筋変性がおこって筋萎縮，拘縮，筋力低下などによる動作の障害がおこる，神経衰弱様症状や性欲低下もおこりやすい。
症度 IV	レイノー現象：頻発し著明（広範囲となり，足部も現われることがある。） その他の症状：手指・前腕の上記諸症状は著明となる。筋萎縮，末梢神経麻痺，肘関節等の骨変化も顕著となる。精神的不安定性や神経症状は更に増強し，吐気，めまい感等も時に現われる。	第四期	蒼白現象がひんぱんになり部位も拡大し，足にまであらわれる。同様な血管痙攣発作は心臓や脳にもおこるようになるから，狭心症様胸痛やメニエル症候群を思わせる目まいや頭痛がおこる，脊髄の病変を思わせる神経障害もみられる。この時期には症状は固定し，ほとんど元にもどらない，また，労働能力は低下し完全な喪失にいたる。	第四期	レイノー現象（白ろう現象）の回数や発想部位が増大し，全身の器質的変化が明らかになる。手足におこると同様な血管緊張異常ないし血管れん縮が全身にひろがり，狭心症様症状，メニエール症候群，間脳症候群などをおこすこともみられる，脊髄性疾患様の症状を呈することもある。

*：Андреева－Галанина. Е. Ц.（1947）

自覚症状とともに発現することである。

知覚異常としては、末梢の振動覚、痛覚、温度覚、触覚の閾値上昇ないし過敏の他に、腕のしびれとか痛みなどの異常知覚があげられる。これらの感覚の障害は比較的早期にあらわれ症状の進行に伴い強くなるのが一般的である。以下にこれら知覚の種類別に振動暴露の影響について概括する。

2．振動覚への影響

慢性的な異常の場合、わが国の最近の臨床検査では、両手の示、中、環指の末節の掌側中央の部位で、指を軽く伸ばし、指先を軽く振動子に接触させて測定されている。正弦波振動が用いられ、周波数は原則として 125 Hz 要すれば、62.5 Hz、250 Hz も用いられる。はじめに、振動感覚を確認させた後に、上昇法で 2〜3 回繰り返して閾値を測定するが、この間被験者は軽く目を閉じている。

振動障害患者の振動覚検査結果については非常に多数の報告があるが、検査成績の診断基準が定められているわけでない。渡部(1974) は、加速度レベル 0 dB を 10 m^{-6}/sec^2 とした場合、常温下で 7.5 dB 未満で正常、 7.5 dB 以上で ＋（軽度の異常）、12.5 dB 以上で ＋＋（中等度の異常）、17.5 dB 以上で ＋＋＋（重度の異常）（但し、50 才以上では +2.5 dB の補正を行なう）とし、冷水負荷（患側あるいは利き手の手首より先を 5 ℃ の冷水に 10 分間浸漬）後の振動覚の回復については、以下の場合を異常としている。

	＋	＋＋	＋＋＋
引上直後	１７．５ｄＢ以上	２２．５ｄＢ以上	２７．５ｄＢ以上
引上後５分目	１２．５ｄＢ以上	１７．５ｄＢ以上	２２．５ｄＢ以上
引上後１０分目	１０．０ｄＢ以上	１５．０ｄＢ以上	２０．０ｄＢ以上

振動工具取り扱いによる急性影響については、Malinskaya(1971) は、1日の作業前後の閾値の一時的上昇がやがて起る閾値の恒久的上昇の程度を示すこと、振動覚閾値の一時的変動は、使用工具の特性すなわち、作業で暴露される振動の周波数と強さ（振幅）に応じて異なることなどを明らかにしている。山田(1969) は、チェンソー使用後、閾値の一時的上昇は回復するが、十分回復しきらないうちに次の鋸断作業が始まれば、閾値の上昇は前回より大きくなること、チェンソー稼働時間の連続した労働時間中に占める比率や外気温、健康状態により閾値の上昇の仕方が異なることを明らかにしている。

Malinskaya(1971) によれば、振動速度振幅が一定の時、4つの周波数（16, 63, 125, 250Hz）の 3〜30 分間の振動暴露後では、高周波の振動が低周波の振動より大きな閾値上昇を引き起すことを Radzyukevich(1969) が見い出したことを紹介し、これは、受容器の特性で説明されるだろうと述べている。しかし、振幅は、一条件だけで、250 Hz 以上の場合について行なわれたのかどうか紹介していない。

Bjerkerら(1972) は、暴露振動の周波数と振動覚テスト周波数に 50、100, 200, 400, 800 Hz を選び、加速度振幅が一定の振動を指尖へ 5 分ないし 10 分暴露した後の閾値上昇について暴露周波数とテスト周波数の関係を研究し、50 Hz と 100 Hz の暴露では 50 Hz の振動覚に、200 Hz の暴露では、100 Hz、200 Hz、および 400 Hz の振動覚に、400 Hz, 800 Hz の暴露では、800 Hz の振動覚に、それぞれ最大の閾値上昇が起ることを見い出している。また、100m ／ sec^2 の振動に5分暴露した後の 100 Hz のテスト振動覚のデータでは、暴露振動の周波数が 50 Hz の場合に他の周波数に比べて約 2 dB 大きい閾値を示しているほかは、著明な差が見られない。 冨永(1973) は指尖部のみに、40, 60, 80, 160, 320 Hz の振動を5分間暴露した後の 125 Hz テスト振動覚の閾値上昇を調べ、2.7 g までの暴露では、周波数間の閾値上昇の有意差を見い出していないが、5.4 g 以上では、160 Hz で最大の閾値上昇を認めている。

原田(1978a) は、振動板上に手掌をおかせて、周波数 31.5, 125, 500 Hz の振動を 1 g と 5 g で手掌全面に5分間与えた場合の 63, 125, 250 Hz の閾値上昇を測定し、31.5 Hz と 125 Hz は 500 Hz より大きな閾値上昇が起ると述べている。しかし、振動工具取り扱いの際、単に振動しているハンドルに手掌を置くという暴露は非現実的で問題があると考えられる。

さらに原田(1978b) は、周波数 8, 16, 31.5, 63, 125, 250, 1000 Hz の振動を 0.74, 2.35, 7.43 cm／sec の等速度条件で暴露して、前掲と同じ方法で閾値上昇を測定し、い

ずれの速度においても、250 Hz の振動負荷で最大の閾値上昇が起ることを示した。そして暴露振動の周波数と変位振幅の変数の３次までの項を含む多項式モデルを用いて多重回帰分析により暴露直後の閾値上昇を予測できる等閾値上昇曲線を求めている。これによると最大の閾値上昇を生じる暴露振動周波数は、振動の強さが小さくなるにつれて低くなっており、原田自身の実験結果とも矛盾している。また低周波振動暴露の場合の閾値上昇が非常に大きくなることや、負荷振動の周波数が高く振動速度が小さい場合には、閾値の低下が起る結果になるなど、現実とそぐわない。このように、原田の予測式の適性には問題がある。

Gescheiderら(1979) は、母指球に 10 Hz の振動を 10 分間暴露した後の 15 Hz と 125 Hz の閾値上昇と暴露振動の強さの関係を調べ、15 Hz の振動に対する閾値上昇は、刺激の強さが閾値以上になると、それに比例して大きくなるのに、120 Hz の閾値上昇は閾値上約 25 dB の強さから起りはじめること、また 250 Hz の振動の 10 分間暴露では、140 Hz の閾値上昇は、閾値以上の強さにほぼ比例して大きくなるが、20 Hz や 30 Hzの閾値上昇上約 25 dB にならないと起らないことを示し、このような閾値上昇の起り方の相違を圧力変化に敏感な深部、感覚受容器であるパチニ小体の関与した振動覚と、非パチニ系といわれるパチニ小体とは別の系の関与した振動覚とで説明を試みている。

Malinskaya(1971) は、Radzukevich が閾値上昇が振動速度の低い部分と高い部分では直線的に、その中間ではＳ字曲線状に、振動速度の増加とともに増大したことを紹介しているが詳細は明らかでない。

冨永(1973) は、320 Hz 以外では、振動覚閾値上昇は暴露振動の加速度に依存していると述べている。

原田(1978b) は、回帰分析により、振動覚閾値上昇の大きさは振動の強さの対数値を独立変数として、その２次項までが含まれる式であらわした。しかし、それでは、暴露振動の強さがある値以下になると暴露振動が小さくなるにつれて振動覚閾値上昇が大きくなり、実際の現象と合わずやはり予測式の適性が問題となる。

Gescheiderら(1979) は、250 Hz の振動を母指球に 10 分間暴露した後の 80 Hz と 140 Hz の振動覚閾値上昇は、暴露振動の閾値上の振幅にほぼ比例して大きくなることを示している。

振動感覚の回復過程については、Radzyukevich(1969 ： Malinskaya, 1971 の紹介による)、Bjerkerら(1972)、冨永(1973)、原田(1978a,1978b)、Lidsdtrom(1979) は、振動覚

閾値上昇が暴露直後からの経過時間の対数値に比例して回復するとしているが、これでは、暴露直後の振動覚閾値上昇は +∞ すなわち極度に過敏な状態となり、また時間の経過とともに振動覚閾値上昇は -∞ に向かい、実際の現象とは著しく異なることになる。

振動暴露による振動覚閾値上昇に対する把持力の関係について言えば、 Malinskaya (1971) は、振動物体を把持、あるいは圧迫したときに生ずる振動覚閾値上昇は、把持、圧迫のみによる振動覚閾値上昇と振動のみによる振動覚閾値上昇の和としてあらわれるので、把持、圧迫の力は少ない方がよいと述べている。

３．痛覚への影響

痛覚障害も振動の影響を受けている者に極めて多い。これも最近では、両手の示、中、環、小指の中節背側の皮膚の薄い部分に、静脈用 1／2 針を用いた注射管方式の痛覚計の針を静かに 4～8 回のせ、この部位に閾値異常を認めれば、更に、手背、前腕、上腕について検査する手技がとられている。検査成績の診断基準は定まっていないが、渡部(1974) は、常温下で 3 g 未満で正常、3 g 以上で +（軽度の異常）、5 g 以上で ++（中等度の異常）、7 g 以上で +++（重度の異常）とし、冷水負荷後については、以下の場合を異常としている。

	＋	＋＋	＋＋＋
引上直後	５ｇ以上	７ｇ以上	１０ｇ以上
引上後５分目	３ｇ以上	５ｇ以上	７ｇ以上
引上後１０分目	３ｇ以上	５ｇ以上	７ｇ以上

振動工具取り扱いによる急性影響の報告は少ない。桜井ら(1980) は、モーターバイク走行による変動は、少なく季節変動は、認められなかったと述べている。振動暴露による痛覚閾値の一時的上昇についての生理学的研究は見当らない。

4．温度覚

振動工具の使用により温度覚にも異常が生じる。温度覚検査については広沢ら(1976)が、簡便な検査機器を開発し、著者らとともに多数の振動障害患者の検査を行なっている(Hirosawa, 1983; Hirosawa, Watanabe, Fukuchi, Nishiyama and Hosokawa, 1983)。しかし、温度覚計が普及していないこともあり、検査手技は標準化されていない。福地ら(1981)は常温下で、冷覚 25 ℃ 以上、温度覚 40 ℃ 未満、中性帯域幅（温覚温度一冷覚温度）10 ℃ 未満で正常とし、異常については、以下のように分類している。

	温覚温度		冷覚温度
＋	４０℃未満	かつ	１５～２５℃
	あるいは		
	４０～４５℃	かつ	１０～１５℃
＋＋	４０～４５℃	かつ	１５～２５℃
	あるいは		
	４５℃以上	かつ	１０～１５℃
＋＋＋	４５℃以上	かつ	１０℃未満

なお、温度覚ついては、冷水負荷後の反応についての報告は見られない。振動工具取り扱いによる急性影響については詳しい報告はないが、広沢、西山、渡部(1981）の実験室的研究により、振動の周波数と強さ、及び振動工具の把持力によって温度覚の一時的変動の起り方が異なることが明らかにされている。

5．触覚

振動工具の使用により触覚も低下する。触覚の検査には、触二点弁別閾値の測定が一時応用されたが、岩田(1978) が述べているように、診断的にはかなり難しい。急性影響についても報告は少ないが、桜井ら(1980) は、モーターバイク走行前後の閾値の変動が寒冷期の方が大きいことを示している。福地ら(1981) は、種々の粗さのサンド・ペーパーを指尖掌側で軽く摩擦させ、ざらざらした触覚を生じる最低の粗さをみる方法を用いている。この場合、ＪＩＳ規格 800 番以上を正常、700 番を ±、600 番を +、500～400 番を ++、 320 番以下を +++ という診断基準が用いられている。冷水負荷後の触覚変動についての報告は見られない。サンドペーパー方式についての急性影響の研究報告も見られない。

6．しびれ、痛みなどの異常知覚

これらの異常知覚については、自覚症状に対応する検査方法が今の所ないといえる。末梢神経伝導速度等の研究も行なわれているが、それらの成績との関係も今だ明らかになっていない。

7．まとめ

以上いくつかの知覚について、振動暴露の慢性的あるいは急性的影響について概括してみたが、振動障害にみられる知覚領域の異常では、振動覚が大きな位置を占めているといえる。

振動暴露の振動覚に対する急性的影響の実験的研究を概括したところ工具保持の実態から見ると振動体への接触条件に種々問題のあることが明らかにされた。暴露振動の周波数や強さと振動覚閾値上昇の関連も研究者によって異なっている。若干の研究者は振動覚閾値上昇や回復についての予測式を求めているが普遍性に欠けている。局所振動暴露の急性

影響から慢性影響への展開の機構を理解するうえでも以上の問題点が解明されなければならない。

第三節　振動暴露による振動感覚閾値の上昇

1．はじめに

前節で述べたように振動暴露により指尖振動感覚閾値の一時的上昇がおこる。その大きさは、振動の暴露時間、暴露振動の周波数と強さおよび暴露後の経過時間に左右されるほか、振動物体を把持したり牽押する（引いたり、押したりする）ときの筋力、環境気温などにも左右される(Weitz, 1941)。しかし、これらの要因と振動覚の一時的閾値上昇の関係についての研究結果は前節で述べたように様々であり十分解明されていない。本節では、暴露時間、牽押力および環境気温を一定にして、暴露振動の周波数と加速度実効値、把持力および暴露後の経過時間の４つの要因の関与を定量的に明らかにすることを目的として行なった実験結果について述べる。

動力工具取り扱いによって振動障害が発生しているという実態から、実験的暴露においても振動物体を保持する力と姿勢の条件を設定することが重要と考え、とくに、把持力と牽押力については、暴露条件の一つとして、測定することを本研究では重視した。

また、振動覚閾値は、平常時でも、個人差があるので振動暴露により振動覚閾値の一時的閾値上昇を評価する上では、暴露前の振動覚閾値と暴露後の振動覚閾値の差すなわち、振動覚閾値の上昇量を諸暴露条件との関連で評価した方がよいと考えられる。そこで、本節では、局所振動の生理学的影響の評価指標として振動覚の一時的変化(Temporary Threshold Shift of Vibratory Sensation, 略して TTSv ）を定義して用いることにした。すなわち，

$$TTSv(t) = VSb - VSa(t) \qquad (1)$$

TTSv(t)： 振動暴露終了後 t 分目の振動覚閾値の暴露前に対する変化量(dB)

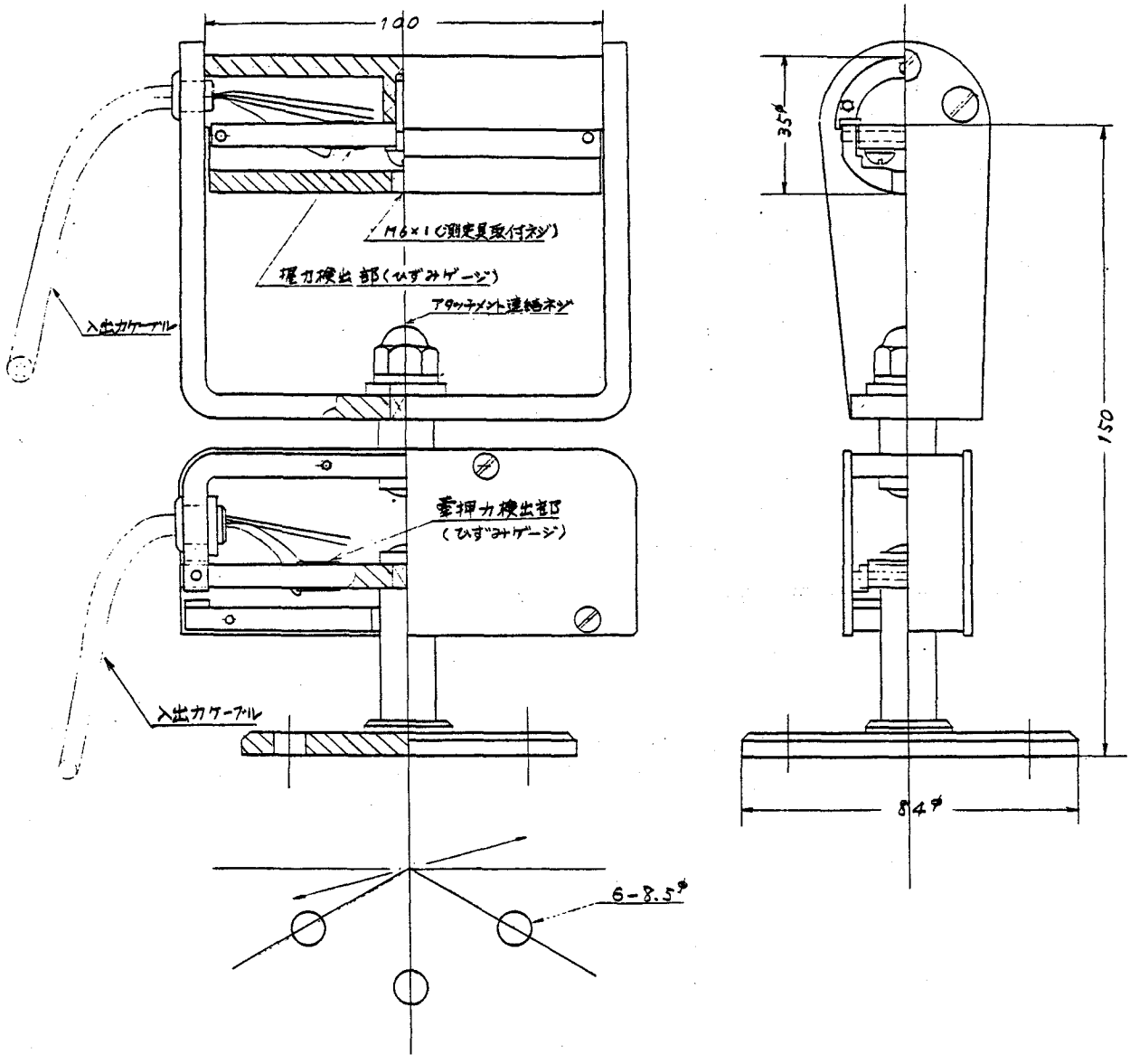


図3－3　試作握力・牽押ハンドル

VSb　：振動暴露直前の振動覚閾値（dB）

VSa(t)：振動暴露終了後 t 分目の振動覚閾値(dB)

2．方法

被験者は６人の健康でかつ指尖掌側の振動覚閾値が 7.5 dB 以下の正常範囲（0 dB = 振幅の p-p が１μm ）にある 22～23 才の学生である。

実験は、22 ℃ に設定された恒温・防音室で行なわれた。振動は被験者の左手に、動電型加振器（国際機械振動研究所製）に取り付けられた図３－３に示すような試作ハンドルを通じて加えられた。暴露振動は、表３－４に示すように、正弦波振動で、周波数域は、加振器でとりうる範囲いっぱい(8～2000 Hz)とし、振動の強さは、それと TTSv の量・反応関係を加速度実効値、速度実効値の両方で、評価できるように選ばれた。というのは、暴露振動の周波数域によって振動の生理的・心理的影響の大きさが人体に伝播された機械的エネルギーの量で説明できる場合と印加された力の大きさで説明できる場合があるということが様々の研究で指摘されてきたからである。その組合せは、表３－４に示す通りであった。手への振動暴露時間は 10 分間とした。加振方向は、図３－４に示すようにハンドルの軸を含む水平面に対して鉛直な方向とした。

被験者は常に椅座位で、左前腕を加振ハンドルと同じ高さで水平になるようにし支持台の上に置き腕の中空保持のための力は不要なようにして、所定の力の大きさでハンドルを握るように指示された。握り方は、手掌把持すなわちハンドルを手掌の肉付の良い方で握る方法であった。この状態で測定した各被験者の最大把持力を測定し、その 5 % と 10 % の２種類（以下各々 5 % 把持力、10 % 把持力と称す）の把持力を選んで振動を暴露した。

ハンドルを把持することによって必然的にハンドルを引いたり押したりする力が生じる。これをハンドルの牽押力と呼ぶ。この把持力と牽押力を図３－３に示すようにハンドル内部及びハンドル支柱内部に固定した水平スリットに歪ゲージブリッジを貼りつけてモニターした。被験者は、モニター用オシロスコープを注視して自分の把持力を所定の水準に維持した。実際には、このような姿勢と把持力の大きさでは、被験者がハンドルを保持するために能動的にハンドルを牽押する力は認められなかった。ハンドルが冷たいために手が冷却され TTSv に影響されることのないようにハンドル温度は 30 ℃ 以下にならないよ

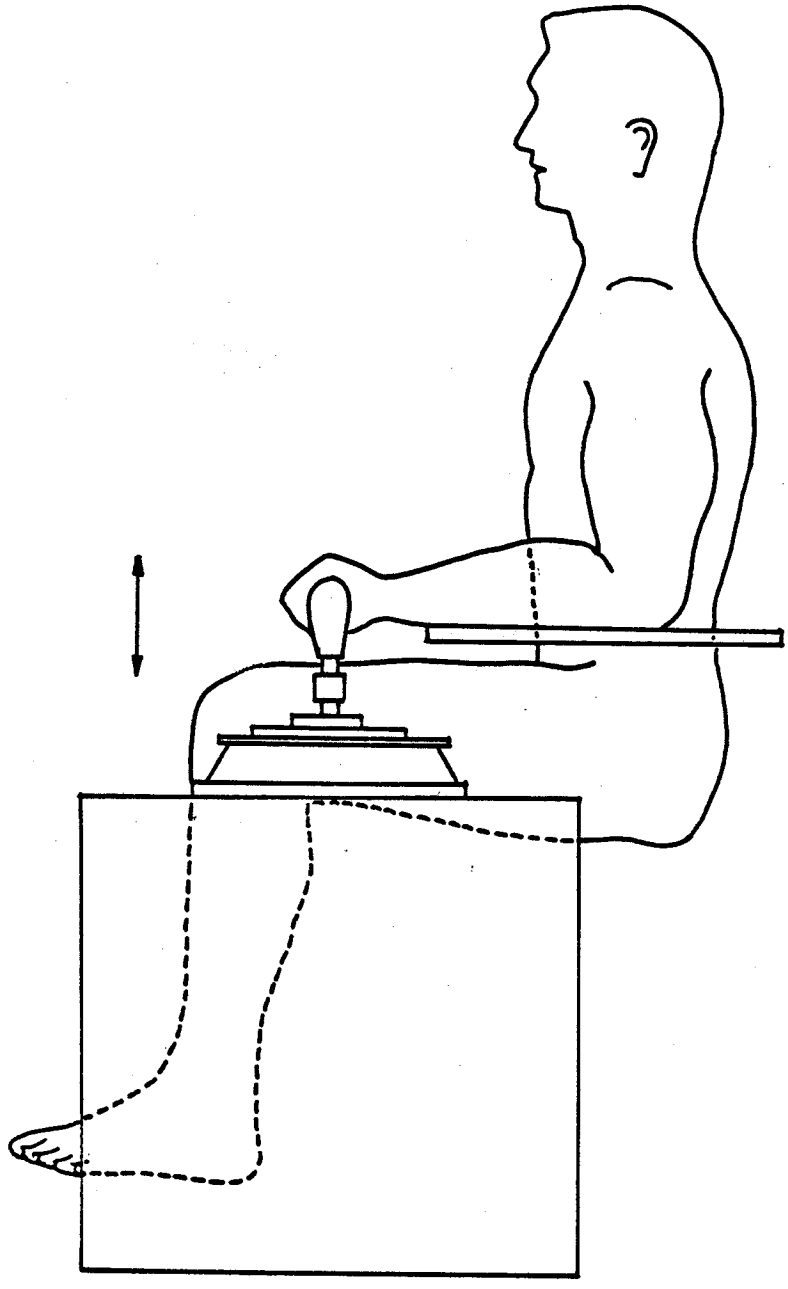


図３－４　振動暴露姿勢と加振方向

表３－４　暴露振動の周波数と強さ

周波数	加速度実効値 (g)								
8Hz	-	-	-	-	-	-	0.063	-	0.25
32Hz	-	-	-	-	0.063	-	0.25	-	1.0
63Hz	-	-	-	0.063	-	0.25	-	1.0	-
125Hz	-	-	0.063	-	0.25	-	1.0	-	4.0
250Hz	-	0.063	-	0.25	-	1.0	-	4.0	-
500Hz	0.063	-	0.25	-	1.0	-	4.0	-	16.0
2000Hz	0.25	-	1.0	-	4.0	-	16.0	-	64.0
速度実効値 (cm/sec)	0.019	0.039	0.078	0.15	0.31	0.62	1.2	2.5	4.9

うに温度制御も行なった。16 g 以上の加振時は加振器から発せられる騒音レベルが高くなるためにイヤーマフ（耳おおい）を装着させた。

125 Hz の振動覚を左の指尖掌側で、リオン社製 AU-02 型振動覚計を改造して測定した。この振動覚計の特性は、 0 dB が P-P 振幅 1 μm （加速度実効値：298 mm ／ sec^2 ）、ダイナミック・レンジが −20〜40 dB、1 目盛 2.5 dB であった。前値は各振動暴露の直前に5分ごとに数回測定して求めた。振動暴露後の振動覚測定は、直後から 35 秒間は休みな 5 分ごとに繰り返して測定してその後 5 分までは 30 秒おきに、10 分目までは 1 分おきに
20 分目までは 5 分おきに行なった。

比較対象条件（対照条件）としては無振動ハンドルを把持した場合の影響および各周波数での加振時の発生音の影響をみた。暴露実験順序は対照条件も含めて各被験者毎にランダムとした。

データ解析には、京大計算センターの社会科学統計用パッケージ(Statistical Package for the Social Science, 略して SPSS と呼ばれる、Norman, 1975) を用いた。

3．結果

3－1　無振動時の振動覚閾値上昇

無振動ハンドル把持の場合、把持後 0.33 分後の TTSv は、 5 % 把持力の場合 3.3 dB (SD = 1.86 dB)、10 % 把持力の場合で 7.1 dB(SD = 1.72 dB) であった。両者の差は有意であった($p < 0.01$)。把持させないで加振時に発生する加振器からの騒音のみの暴露では、どの条件下でも有意な TTSv は認られなかった。

3－2　振動覚閾値上昇と暴露振動周波数

1 人の被験者は特異な反応を示した。すなわち 250 Hzの振動暴露の場合のみ TTSv をほとんど生じないか、あるいは TTSv の回復過程が不規則的変動を示した。このような反

応は他の被験者やこの被験者の他の周波数の振動暴露の場合の反応には全くみられない現象であった。250 Hz について改めて暴露実験を繰り返しても類似の反応が生じた。その原因はわからなかった。そこでこの被験者の250Hz 暴露の場合のデータのみ棄却して解析することにした。

図３－５は 5 % 把持力の場合の、図３－６は 10 % 把持力の場合の加速度実効値を一定にした場合の暴露後 0.33 分後の TTSv と周波数との関係を示している。 TTSv の最大値は負荷振動の加速度実効値に関係なく 250 Hz にあり（$p < 0.01$）、8 Hz、32 Hz、2000 Hzで TTSv は小さく無振動時との間に有意差は認められなかった。

図３－５、図３－６の TTSv と周波数の関係は、若干非対称な凸形をしめしていることを配慮して、周波数により TTSv を近似する回帰曲線のモデル式を種々考えた。そして暴露後の TTSv は（２）式で近似できると仮定した場合、

$$TTSv(f) = \exp(a \cdot f + b \cdot \log(f) + k_1) \qquad (2)$$

但し　f：暴露振動の周波数

k_1、a、b：定数係数

１ g 以上の暴露振動で（２）式の定数係数を多重回帰分析で求めて得られた近似式による TTSv と測定にもとづく TTSv の間の近似の程度を表す重相関係数（０から１の範囲の値をとり、１のときは完全な一致が得られたことを示し、０はその逆を示す）は、0.76～0.92 で、（２）式は良い適性を示すことが判明した。

３－３　振動覚の回復経過

10 分間の振動暴露後の振動覚の回復即ち、 TTSv が 0 dB にちかづく経過は図３－７に示した例のようであった。そこで TTSv は時間とともに指数関数的に減少していくと考えた。そして TTSv の減衰は（３）式で近似できると考えた場合、前式と同様

$$TTSv(t) = \exp(-c \cdot t + k_2) \qquad (3)$$

但し、t　：暴露後の暴露直後からの経過時間

C　：時定数

k_2：定数係数

暴露振動の周波数が 63～500 Hzで 0.25 g 以上の場合について行なった回帰分析の結果、

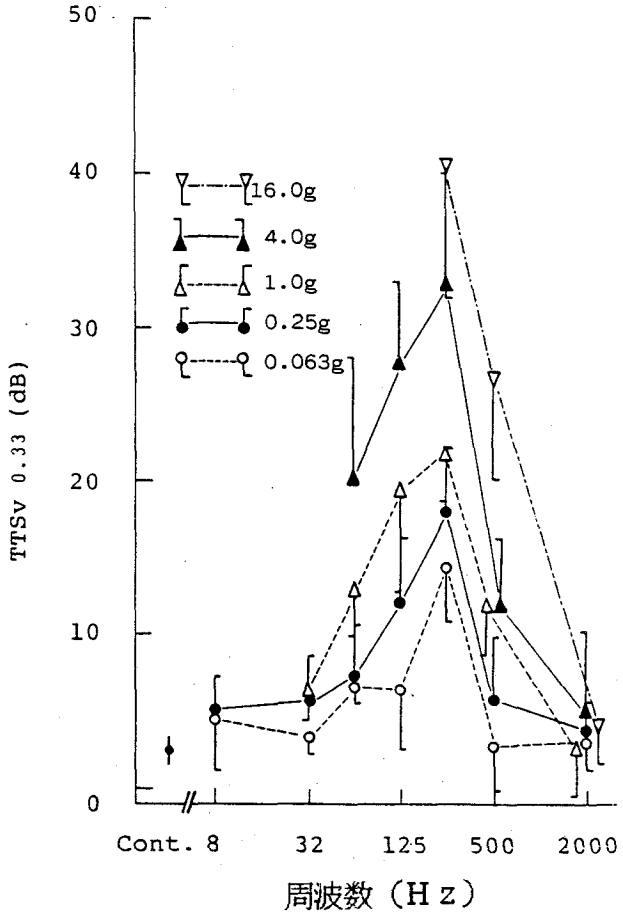


図３－５　最大把持力比５％の把持力下での１０分間の振動暴露による一時的振動覚閾値の上昇量（ＴＴＳｖ）。各点の棒は標準偏差の絶対値を示す。閾値上昇量は、暴露直後２０秒後の閾値レベルから暴露前レベルを減じたものである、棒は標準偏差を示す

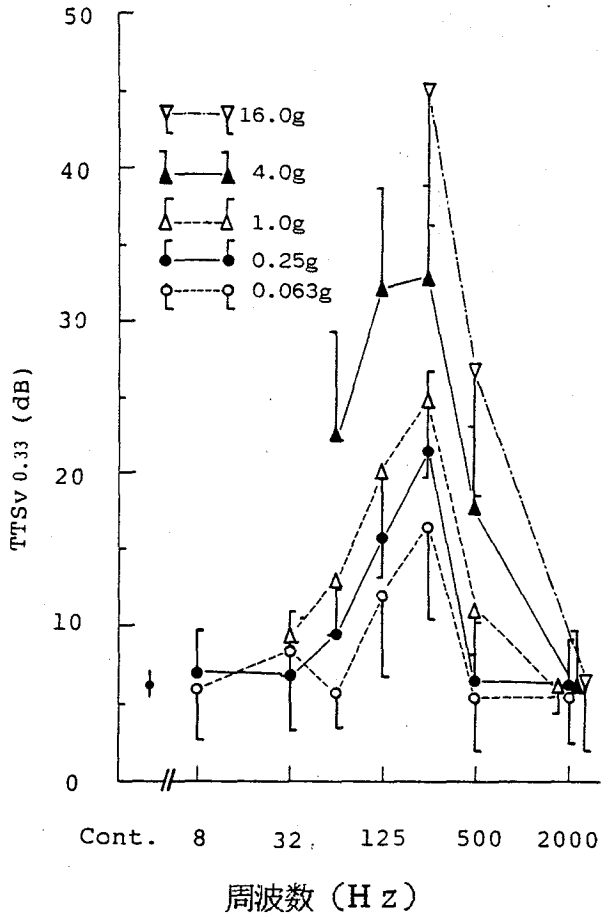


図３－６　最大把持力比１０％の把持力下での１０分間の振動暴露による一時的振動覚閾値上昇量（ＴＴＳｖ）。各点の棒は標準偏差の絶対値を示す。閾値上昇量は暴露直後２０秒後の閾値レベルから暴露前レベルを減じたものである棒は標準偏差を示す

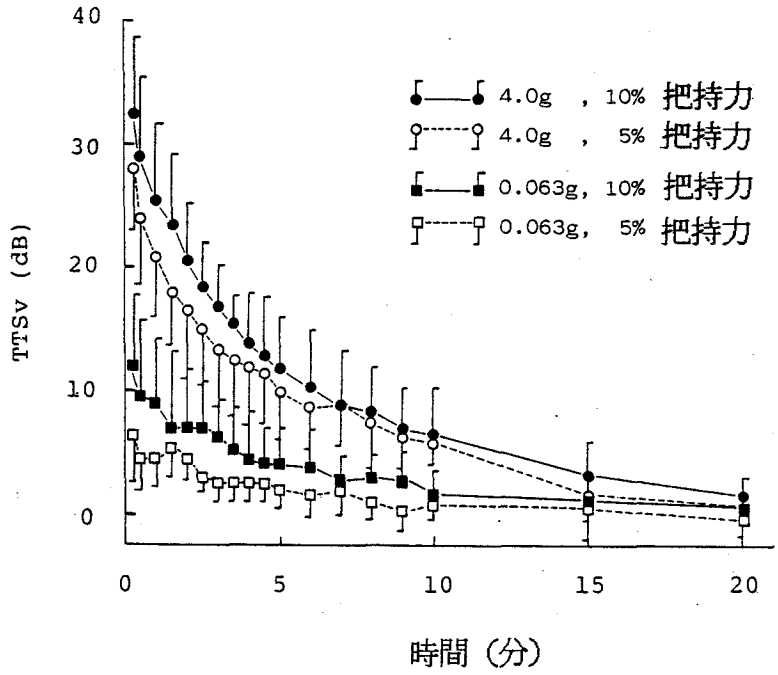


図３－７　振動暴露後の一時的振動覚閾値上昇量（ＴＴＳｖ）減衰経過
暴露振動周波数は１２５Ｈｚ。棒は、標準偏差を示す

重相関係数は 0.80～0.96 を示した。このように高い重相関係数がみられることから、TTSv は指数関数的に回復するということができる。

３－４　振動覚閾値上昇と加速度実効値

図３－８は 5 % 把持力の場合の、図３－９は 10 % 把持力の場合の暴露振動の加速度実効値と TTSv の関係を暴露振動の周波数別に示したものである。

図にみられるように振動暴露直後の TTSv は 32～500 Hz の場合、加速度実効値とともに有意に上昇した。また図３－８、３－９から TTSv は加速度実効値を底としたべき乗に比例して上昇すると考えられた。そこで、

$$TTSv(A) = k_3 \cdot A^{\alpha} \qquad (4)$$

但し、A ：加速度実効値

k_3 ：定数係数

α ：べき数

と仮定し、回帰分析を行なうと、 63～500 Hz では、重相関係数は 0.76～0.92 で（４）式は良い適性を示した。しかし（４）式では、暴露振動の加速度実効値が非常に小さくなると暴露直後の TTSv は零に近づく。ただし、これは（４）式に無振動時の TTSv を代入して得られる加速度実効値よりも大きい振動の暴露の場合に（４）式は適用され、それよりも小さい振動の暴露では、無振動時の TTSv に等しい反応が生じると考えればよい。

３－５　振動覚閾値上昇に対する把持力の相乗効果

図３－７にみられるように同じ振動の暴露であっても TTSv は把持力が大きいほど大きい。暴露後の経過時間を共変数とした共分散分析の結果、10 % 把持力の場合の TTSv は 5 % 把持力の場合の TTSv より、有意に大きかった（表３－５）。

同じ振動条件での 5 % 把持力の場合と 10 % 把持力の場合の間の TTSv の差を無振動条件の場合の両者の TTSv の差と比較した。その結果、上述と同様に、共分散分析を行なうと 29 条件中 14 条件に有意差が認められ、把持力の差による TTSv の差が、振動暴露

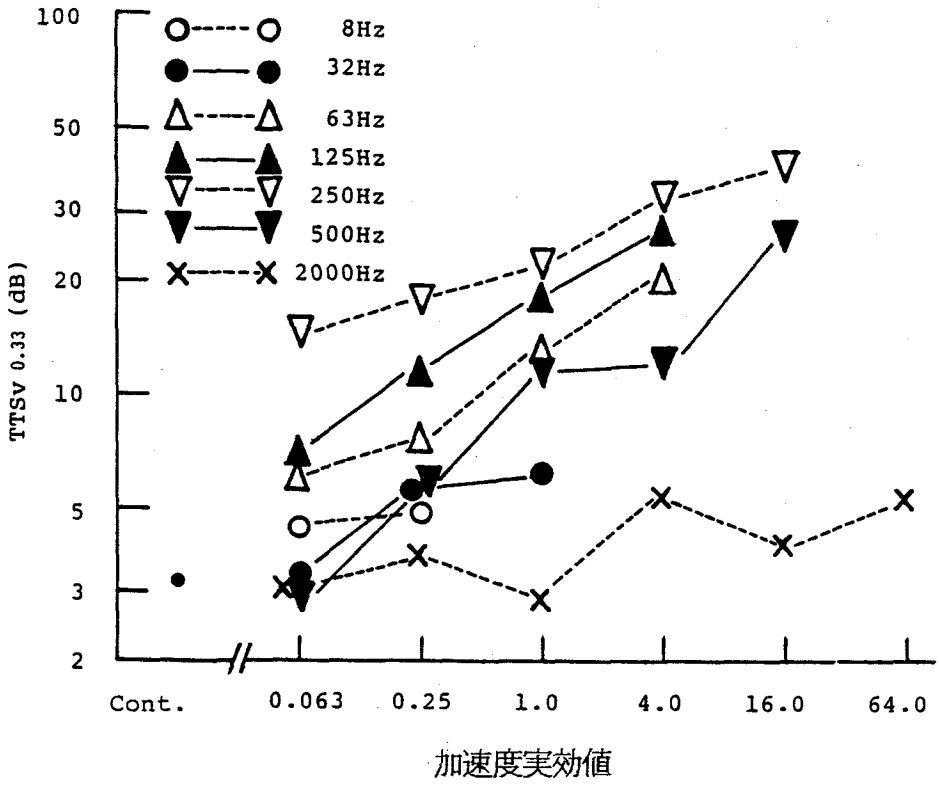


図３－８　暴露振動の強さと、暴露終了後２０秒目の振動閾域値上昇量（ＴＴＳｖ）と関係。パラメーターは暴露振動の周波数、把持力は最大把持力の５％

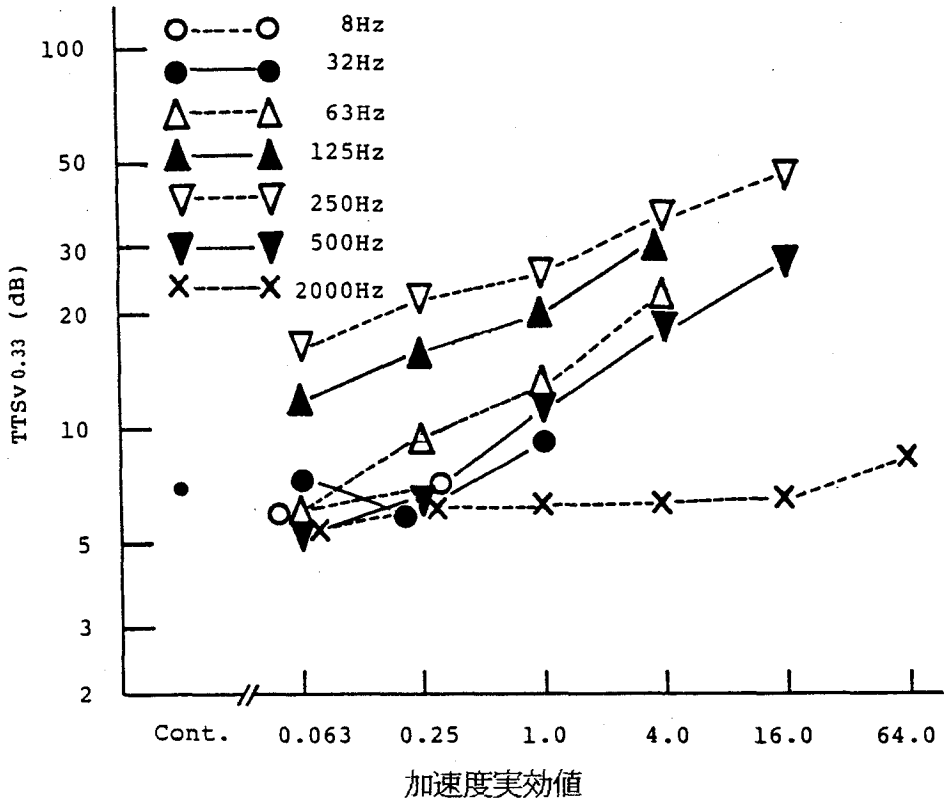


図３－９　暴露振動の強さと暴露終了後２０秒目の振動覚閾値上昇量（ＴＴＳｖ）と関係。パラメーターは暴露振動の周波数、把持力は最大把持力の１０％

表３－５　暴露振動の周波数・強さ別把持力条件間の振動覚閾値上昇の差(dB)
但し、把持力条件は最大把持力比５％と１０％である

加速度	周　波　数　（Ｈｚ）						
実効値	8	32	68	125	250	500	2000
0.063	1.28	0.60	0.21	2.50**	0.35	2.45**	0.37
0.25	1.70*	1.53*	1.19	1.99**	1.75**	0.28	0.70
1.0	－	2.10**	1.15	2.03**	1.82**	0.86	0.93
4.0	－	－	1.81**	2.33**	1.22	3.55**	0.80
16.0	－	－	－	－	1.94**	1.81*	0.73
64.0	－	－	－	－	－	－	1.18

把持力条件間の有意差の危険率、＊：Ｐ＜０．０５、＊＊：Ｐ＜０．０１
－：実験が行なわれていないので、データがない

のある場合の方が大きく、振動の影響に把持力が相乗的に作用していることが示された。

4．振動覚閾値上昇量の予測

多元配置分散分析により、暴露振動の周波数と加速度実効値、把持力、暴露後経過時間の4要因の交互作用を検討した。その結果、

1） 500 Hz の場合を除いては、把持力と加速度実効値の間には交互作用は認められなかった。

2） 周波数と把持力および周波数と加速度実効値との間には交互作用は認められなかった。

3） 時間と周波数および時間と加速度実効値との間には交互作用が認められた（$p < 0.01 \sim 0.05$）が時間と把持力との間には交互作用が認められなかった。

以上より、全体としては4要因の振動覚閾値上昇量に対する交互作用は無視出来る程度のものであり、4要因の振動覚閾値上昇への作用は相加的とみなしてよいと考えられる。

周波数、加速度実効値、把持力、暴露後の経過時間の4要因から TTSv を予測するために、二水準しか設定していない把持力の要因についてはとりあえず次のような関係が成立すると仮定した。

$$TTSv(F\%) = k_4 \cdot \exp(r \cdot F\%) \qquad (5)$$

但し、k_4、r：定数係数

$F\%$　：最大把持力に対する % で表した把持力比

（2）～（5）より、 TTSv の4要因による推定は（6）式でできると仮定した。

$$TTSv(f,t,A,F\%) = \exp(a \cdot f + b \cdot \log f + c \cdot t + r \cdot F\% + K) \cdot A^{\alpha} \qquad (6)$$

但し、K：定数係数

その他の変数、定数の記号は（2）～（5）にて定義した通りである。

（6）式の定数を決定するために、暴露振動の周波数が 63～500 Hz で、加速度実効値

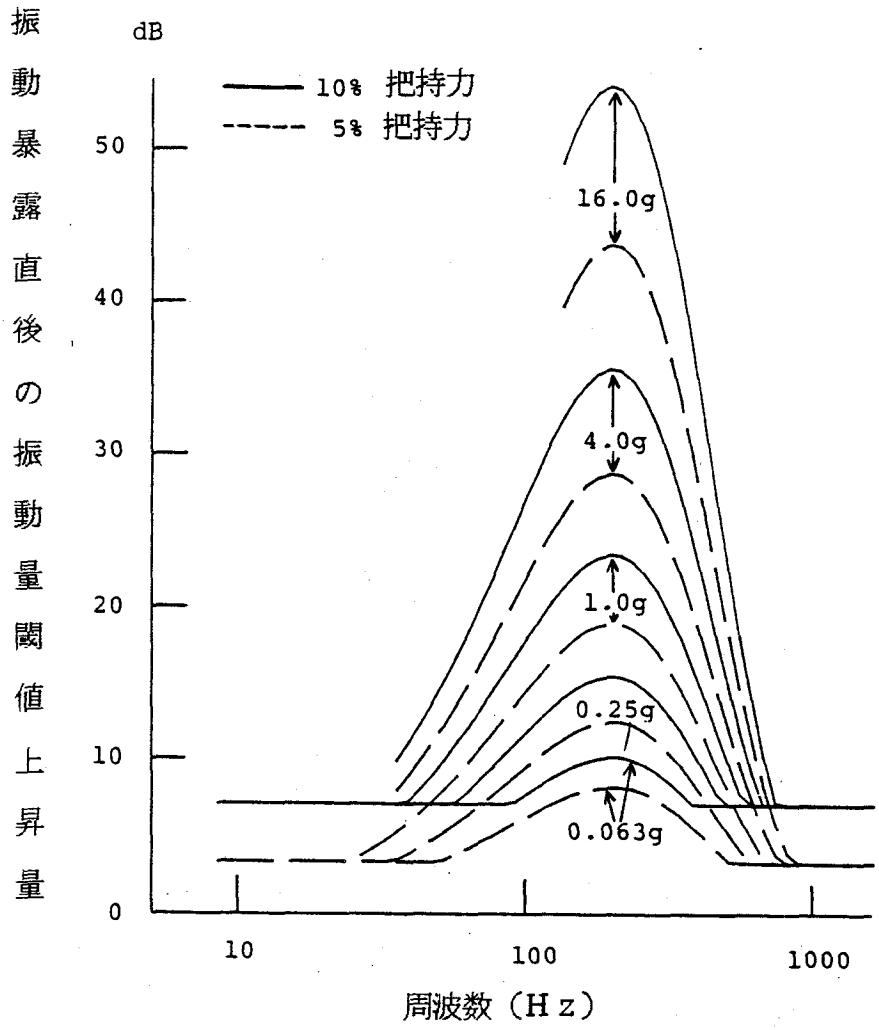


図３－１０　暴露振動周波数と１０分間の振動暴露直後の暴露振動周波数の振動覚閾値上昇量の予測値。パラメーターは、暴露振動の加速度実効値と把持力

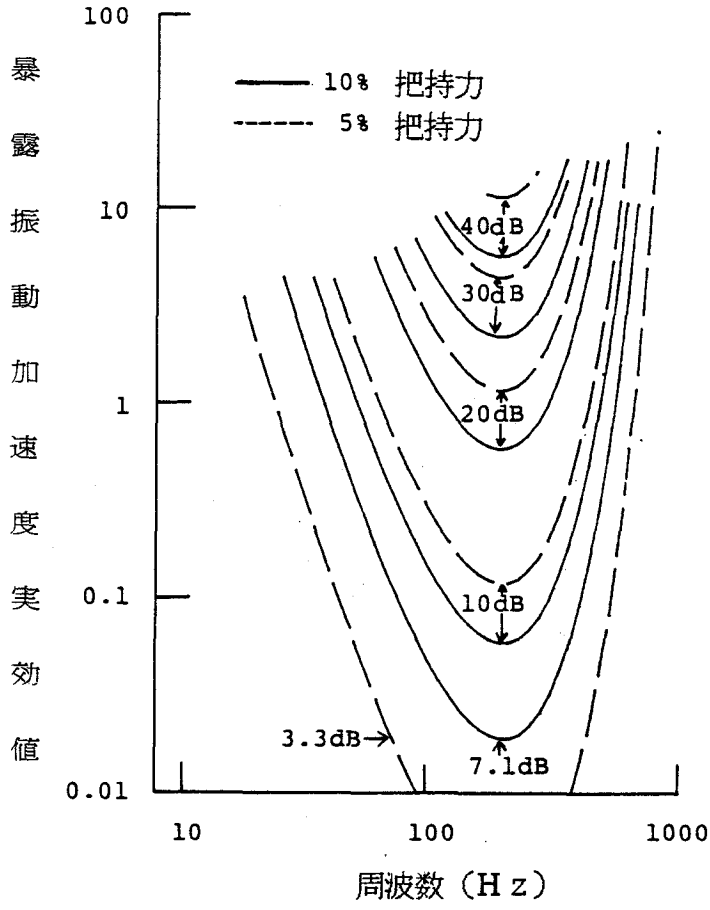


図３－１１　等一時的振動覚域値上昇曲線（予測）

横軸：暴露振動周波数

縦軸：暴露振動加速度実効値

パラメーター：把持力

が 0.25 g 以上の場合のデータを用いて変数追加方式の多重回帰分析を行い次式を得た。

$$TTSv = \exp\left[-0.00719 \cdot f + 3.258 \cdot \log(f) - 0.204 \cdot t + 4.247 \cdot F\% - 3.322\right] \cdot A^{0.303} \quad (7)$$

但し、重相関係数 $R = 0.865$

寄与率 $R^2 = 0.749$

この結果では、重相関係数 R は若干小さいが、（6）式を用い、個人別に同様の多重回帰分析を行なうと重相関係数 R は、0.904～0.944 と改善され、（6）式の良い適性が示された。

しかし、（4）式について述べたように、（7）式では加速度実効値が小さくなると TTSv は非常に小さくなり、測定結果との一致が悪くなっていく。そこで、（7）式において各把持力で推定される TTSv が、その把持力で無振動ハンドルを把持した場合に生じる TTSv よりも小さい場合には、TTSv の推定値は無振動ハンドル把持の場合の平均的 TTSv に等しいとし、加速度実効値、把持力をパラメーターとして、（7）式を用い、振動暴露直後の TTSv の予測曲線を求め、図３－１０に示した。

（7）式によると振動の強さと把持力、暴露後の経過時間が一定のとき、TTSv は 197 Hz で最高値を示す。

さらに、（7）式より図３－１１に示す等 TTSv 曲線が得られた。また（7）式より暴露振動の周波数と加速度実効値及び把持力から、振動感覚が、暴露前の閾値の +2.5 dB まで回復するのに要する時間（回復時間）を予測する図を作成し、図３－１２に示した。この図では、（7）式による予測 TTSv 値がその把持力で、無振動ハンドルを把持した場合の TTSv より小さい場合は、予測 TTSv は無振動ハンドル把持の場合の TTSv と同じであるとして回復時間を求めた。

（6）式において加速度変数のかわりに振動速度を変数にして多重回帰分析を行なうと、（8）式が得られた。

$$TTSv = \exp\left[-0.00719 \cdot f + 3.956 \cdot \log(f) - 0.204 \cdot t + 4.247 \cdot F\% - 4.853\right] \cdot V^{0.303} \quad (8)$$

但し、重相関係数 $R = 0.876$

寄与率 $R^2 = 0.767$

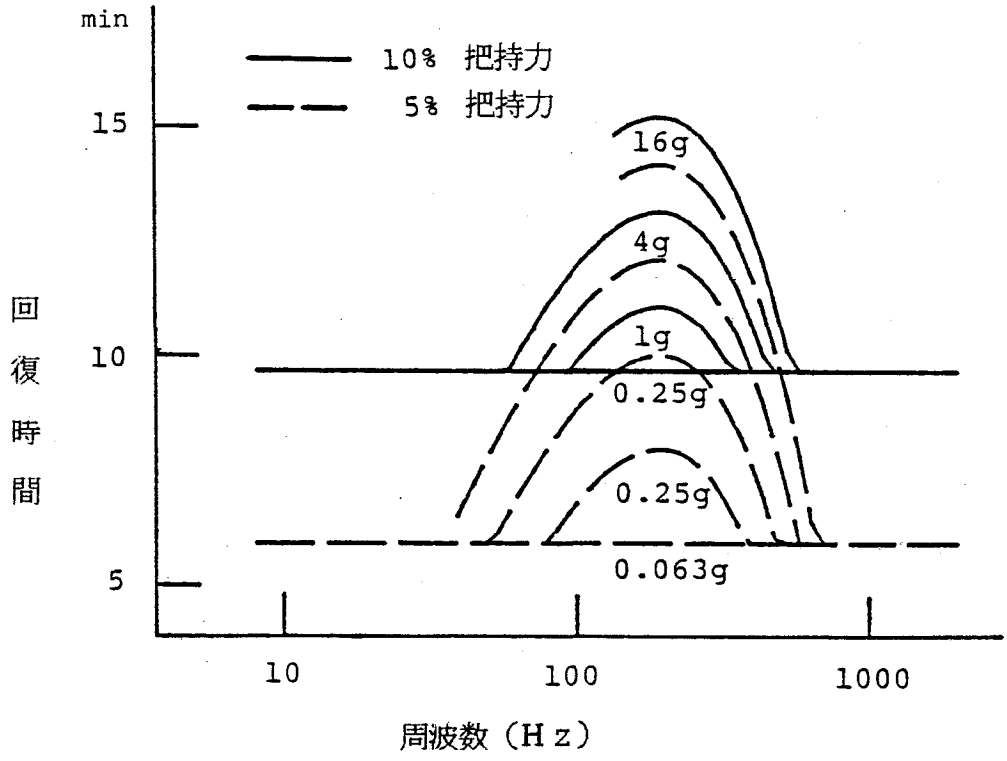


図３－１２　暴露振動周波数の振動覚閾値の暴露前値までの回復時間の予測値。パラメーター：暴露振動の加速度実効値及び把持力

この場合、振動速度振幅、把持力、経過時間が一定ならば、TTSv は 237 Hz で最高値を示す。

（7）式に、（9）式

$$A = 2\pi f \cdot V / 980 \qquad (9)$$

を代入して得られる TTSv と（8）式で求められる TTSv の間には極めて良い一致が認められた。

5．考察

本研究は、暴露振動の周波数と加速度実効値、把持力、振動暴露後経過時間の４要因に関する TTSv の予測式を確立した。これらの式より、 TTSv の最大値は、加速度実効値一定の場合 200 Hz 付近、速度実効値一定の場合 250 Hz 付近の振動暴露により起ることが示された。 Bjerkerら(1972) の振動覚テスト周波数 100 Hz は本研究の振動覚テスト周波数 125 Hz と非常に近いにもかかわらず、かなり結果は異なっている。これは、Bjerker らが、暴露直後に５種類ものテスト周波数について TTSv を調べているので、測定時間が 1.4～6.8 分を要し、しかもこの測定時間についての補正をして TTSv を比較することが行なわれていないためと考えられる。

富永(1973) は、振動加速度実効値が大きいと TTSv が最大値を示す周波数は、160 Hz 付近にあることを示したが、本研究で最大 TTSv を生じる周波数として推定した 200 Hzでの暴露が行なわれていないので両者の結果に矛盾があるとはいえないだろう。

原田(1978a) は、31.5 Hz は 500 Hz より大きな TTSv が起ると述べているが、本研究では、この程度の加速度の場合には 31.5 Hz の振動による TTSv は 500 Hz のどれよりも有意に小さい。この相異の原因の１つとして、原田が振動板上に手掌をおく暴露方法をとっていることが挙げられる。

原田(1978b) の TTSv の予測式は振動速度実効値で求められているので加速度実効値に換算して周波数別の TTSv を求め、本研究の測定値と比較すると、125, 250, 500 Hz の振動暴露時の TTSv は、本研究の方が、原田の場合に比べて 10～20 dB 大きく、31.5

Hz の振動暴露では、本研究の方が原田の場合にくらべて約 5 dB 小さい。また、等加速度実効値の振動暴露で最大 TTSv が観察されるのは、100 Hz 以下の周波数になっている。このような顕著な相異は、前述したように、振動物体への局所の接触状態が全く異なることが主因と考えられる。 動力工具は握って使用されることからすれば、原田の場合では、125～500 Hz の影響が著しく過小評価されるという問題がある。

Gescheiderら(1979) は、TTSv の起り方の相異をパチニ小体の関与した振動覚と、非パチニ系の関与した振動覚とで説明している。Gescheiderらの考えによれば、本研究は、パチニ系の反応を調べたものといえるが、Gescheiderらのいう非パチニ系の反応の場合は TTSv がどのように起るかという点については今後テスト振動の周波数依存性の検討により明らかにすべき課題であろう。

Gilmer(1935), Békésy(1939), Geldard(1940), Андреева－Галанина (1947), Sherrick(1953), Verrillo(1962), 井出ら(1974)、Gescheider(1976)等の多くの研究者の振動覚閾値曲線に関する研究では、振動振幅評価の場合、200～400 Hz の範囲に最高の感度を示すU字型曲線が示されている。速度や加速度を指標にした場合には、閾値が最低値を示す周波数は若干低くなる。これらの閾値特性は、Sato(1961)、Mountcastleら (1967, 1972)、Talbotら(1968) によれば、パチニ小体の機能特性をあらわしているものと解されている。本研究で、このようにパチニ小体による振動知覚系が最も敏感であるところの周波数付近の振動暴露で最大の TTSv が生じたことは興味深い現象といえる。

振動の強さの影響については、本研究では、 TTSv は、加速度実効値ないし速度実効値で表示される刺戟の強さを底としたべき乗に比例することが示された。これは知覚心理学的実験で示された Stevens(1957) のべき法則に似ている。

Radzukevich(1969)(Malinskaya、1971の紹介による) 、冨永(1973)、原田(1978b)、Gescheider(1979)らの暴露振動の強さの範囲は、本研究の場合とほぼ同じであり、その範囲では暴露振動が強いほど TTSv が大きくなるという点では一致している。しかし、回帰の仕方に差があるのは、暴露部位が本研究や原田の場合は手全体であり、他の研究者の場合は、手指の一部であり、振動体との接触状態が、本研究の場合は、ハンドルを一定の力で把持するが、他の研究者の場合は、振動板にのせ、受動的に振動に暴露されるという実験条件のちがいによると考えられる。

本研究では振動覚の回復過程については暴露直後の経過時間の指数関数で回復すると考えた方が、実際の現象にも良く一致することが示された。

振動暴露による TTSv に対する把持力の関係については、本研究では、振動暴露時の 5 % 把持力条件と 10 % 把持力条件での TTSv の差は、無振動時の両者の差よりも大きいので、把持力は、手への振動暴露により引き起される影響を相乗的に促進するといえる。

本研究では、振動暴露によって生じる TTSv を生体反応の指標として暴露振動の周波数や加速度の強さのもつ生理的作用の特性を観察した。Malinskaya(1971) は、1日の振動作業によって生ずる TTSv は集団としてみると、その集団に 10 年後に起きる永久的な振動覚閾値に相当すると述べている。しかし、 TTSv すなわち振動覚閾値の一時的上昇と局所振動の人体に対する蓄積的な有害作用との関係についてはまだ病理学的に議論されるほどの研究が行なわれていないといってよい。振動障害における振動覚異常の病理学的機構はほとんど知られていないが、騒音による聴覚閾値の一時的上昇と永久的上昇の関係の如く、振動による振動覚の TTSv と永久的上昇との間に何らかの関連があると想定することは無意義ではないだろう。ただ、振動の場合には、振動感覚閾値上昇の障害は、振動障害という様々な生理系を病的過程にまきこんでいる疾病の一部分を占めているにすぎないので振動の生体への作用を局所振動障害の予防という見地から評価していくためにも、振動知覚系以外にも様々な生理学的反応を指標とした研究がなお一層必要である。

第四節　動力工具の無振動化、自動化

本章の研究の主な結論は、以下の通りである。ハンドルの機械振動の周波数と及びハンドルの把持力を実験条件として、振動するハンドルを椅座位で 10 分間把持させた場合の指尖の 125 Hz のテスト振動に対する振動覚閾値の一時的上昇とその回復過程を測定・分析した。その結果、振動覚閾値の一時的上昇の大きさは

1．暴露振動の周波数に依存しており、200～250 Hz で最大となり、この周波数域から遠ざかるにつれて、小さくなる。
2．暴露振動の振幅のべき乗に比例して増加する。
3．振動するハンドルを強く把持するほど大きい。
4．ハンドルの把持をやめると、その直後から、指数関数的に小さくなり、暴露前の振動覚閾値に回復する

ことが判明した。

さらに、得られた実験データをもとに多重回帰分析の手法を用いて、暴露振動の周波数が 8～2000 Hz、振動の強さが 64 g（加速度実効値）までの場合についての振動覚閾値の一時的上昇の大きさと、回復過程を良好に近似できる式を確立した。これを用いて、種々の周波数の正弦波振動暴露後の回復時間等を推定できることを示した。山田(1969) はチェンソー使用後、振動覚閾値の一時的上昇は回復するが十分回復しきらないうちに次の鋸断を始めれば、閾値の上昇が前回より大きくなるなど、同種の振動でも影響の大なることを示している。本研究によれば、振動工具の反復使用中にとられる小休止の長さも十分長くなければ工具の発生する振動特性に依存して振動覚閾値上昇の大きさに影響することを示唆している。今後、このような要因も加味した、実験的研究が予防対策上も必要なことが示されたと言える。

さて、振動障害の予防の決定策は、振動の人体への暴露を遮断することであるのは自明だろう。

最多数の振動障害患者を出しているチェンソーの場合振動の強さを低下させるとともに、リモコンチェンソーや自動玉切装置の導入が実施されつつある。ソ連のように緩傾斜地の林業では、チェンソーがとりつけられたアームを装備した林業用自動車等による伐採がかなり以前から導入されていた。

工場では、ロボットの導入による自動化で、動力工具の手持が必要でなくなった職場もある。しかし、完全な自動化や振動の遮断はまだ遠い将来のことであろう。しだがって、動力工具の振動レベルの低下の追求と振動レベルと作業方法に応じた安全衛生のための適切な作業管理が依然として重要であることは明らかであろう。

これらの方策をより充実させるためにも、本研究の方法をさらに発展させ、人体への振動の影響の生理学的な評価を進めていくことは依然として重要な課題であると考えられる。

文　献

Андреева-Галанина. Е. Ц. (1947): Вибрация, ее зналение в лилиене труда, меры борьбы с ней. Изд. Лен. ин-ма лил. труда и профзаболеваний, т. 10, ч. 2, 5-74.

Андреева-Галанина, Е. Ц. и Артамова В. Г. (1963): Экспертиза трдоспособности при вибрционной болезни. л.

von Békésy, G. (1939): Über die Vibrationsempfindung. Akustische Zeitshrift, 4, 316-334.

Bjerker, B., Kylin, B. and Lidstrom, I-M. (1972) : Changes in the vibratory sensation threshold after exposure to powerful vibration. Ergonomics 15, 399-406.

福地保馬、渡部真也、西山勝夫、細川汀、広沢厳夫 (1981): コンクリートパイプおよびパイル製造工場における振動障害、産業医学、23、278-284.

Fukuchi, Y., Hosokawa, M. and Nishiyama, K. (1982) : Vibration disorders of motorcyclists. Proceedings of Int. Symposium on the Protection of Workers against Vibration. Nis, Yugosulavia, 21-24 Sept.

Geldard, F. A. (1940): The perception of mechanical vibration. J. gen. Psychol., 22, 243-308.

Gescheider,G.A. (1976) : Evidence in support of the duplex theory of mechano-reception. Sensory Processes 1, 68-76.

Gescheider,G.A., Frisina, R. and Verrillo, R. T.(1979) : Selective adaptation of vibrotactile thresholds. Sensory Processes 3, 37-48.

Gilmer, B. von H. (1935): The measurement of the sensitivity of the skin to mechanical vibration. J. gen. Psychol., 13, 36-61.

Hagen, J. (1947) :Erkrankungen durch Pressluftwerkzeugarbeit. Arbeitsmedizin, 22, Johan Ambrosius Barth Verlag, Leipzig.

Hamilton, A. (1918) : A study of spastic anemia in the hand of stone cutters. Bulletin 236, U. S. Dept. of Labor, Bureau of Labor Statistics, Industrial Accidents and Hygiene Series, No.19. Washington, D.C.

原田規章（1978a）： 振動負荷による手指尖振動感覚閾値の変化と負荷振動の物理的パラメーターとの関係　第１報　振動負荷および振動感覚閾値測定の方法について、日本衛生学誌、33, 699-705。

原田規章（1978b）： 振動負荷による手指尖振動感覚閾値の変化と負荷振動の物理的パラメーターとの関係　第２報　振動感覚の TTS 曲線と許容基準について、日本衛生学誌、33、706-717。

広沢厳夫、百々栄徳、細川汀（1976）： 振動障害の温冷覚について、第一報　温冷覚計の試作、第 49 回日本産業衛生学会。

広沢厳夫、西山勝夫、渡部真也（1981）： 振動負荷と温冷覚 TTS、第 54 回日本産業衛生学会。

Hirosawa, I. (1983a) : Original consturction of thermo-esthesiometer and its application to vibration disease. Int. Arch. Occup. Environ. Health 52, 209-214.

Hirosawa, I., Watanabe, S., Fukuchi, Y., Nishiyama, S. and Hosokawa, M. (1983b): Availability of temperature sense indices for diagnosis of vibration disease, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 52, 215-222.

Hugony, A (1935) : Über die Empfindung von Schwingungenmittels des Tastzinnes. Zeitschrift für Biologie, 96, 548-553。

井出英人、小畑耕郎 (1974) : 発生電圧による振動感覚の計量化について、日本音響学会誌、30、455-460。

石西進 (1939): 手持削岩機使用者の肉体的障害について、実地医家と臨床、15, 463-473。

岩田弘敏 (1978): 振動症候群、近代出版。

Keighly, G. D. (1975) : Hand-arm system vibration. British Standard Institution draft for development. In : Taylor, W. and Pelmear, P.L. (ed) : Vibration White Finger. Academic Press, London.

木村政長、星重治、井元正流 (1943) : 鋼鋲鋲打作業による上肢末端部の血行障害、医事公論、 1605、1217-1220。

Lidstrom, I-M. (1977) : Vibration injuries in rock drillers, chiselers and grinders. In: Proceedings of the International Hand-Arm Vibration Conference, Cincinnati, Ohio, October 1975, U.S. Department of Health, Education and Welfare,(NIOSH) Publication 77170. National Institute of Occupational Safety

and Health, Cincinnati, Ohio, 77-83.

Loriga, G. (1911) : Il lavoro coi martelli pneumatic. Boll Ispett. Lavoro, 2, 35.

Louda, L. (1969) : Czechoslovak proposal on the guide for the evaluation of hand arm system vibration. ISO/TC 108/WG 7 (CSSR-4).

Malinskaya, N. N. (1971) : Problem of occupational hygiene and work physiology using mechanized tools. In : Letavet, A. A. and Drogichina, E. A.(ed) : Vibration in Industry. (Rus) Medizina, Moskow.

松藤元 (1943) : 圧搾空気工具使用労務者における血管神経症の調査、厚生科学、4(2)、171-180。

三浦豊彦 (1982) : 1930 年代の振動工具による振動障害とその対策、労働科学、 58 (1)、1-33。

Miwa, T. (1967) : Evaluation methods for vibration effect. Part 3 : Measurement of threshold and equal sensation contours on hand for vertical and horizontal sinusoidal vibrations. Ind. Health, 5, 213-220.

Mountcastle, V. B., Talbot, W. H., Darian-Smith, I. and Kornhuber, H. H. (1967): Neural bases of the sense of flutter-vibrations. Science, 155, 597-600.

Moutcastle, V. B., Lamotte, R. H. and Carli, G. (1972) : Detection thresholds for stimuli in humans and in mechanoreceptive afferent fibers innervating the monkey hand. J. Neurophysiol., 35, 122-136.

村越久男 (1938) : 圧搾空気使用による身体的障害について、臨床医学、 26(4)、506-

508。

Nishiyama, K. and Watanabe, S. (1981) : Temporary threshold shift of vibratory sensation after clasping vibrating hand. Int. Arch. of Occup. and Environ. Health, 49, 21-33.

Norman, H. N., Hadlai, H. C., Jenkins, J. G., Steinbrenner, K. and Bent, D. H. (1975): SPSS, Statistical package for the social sciences. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

日本産業衛生学会振動障害委員会 (1980)： 振動障害委員会報告。

Radzukevich (1969) : Malinskaya, N. N. (1971) にて引用されている。

林業災害防止協会振動障害検診委員会 (1973)： 健康診断項目、方法。

桜井忠義、久永孟、高松誠 (1980) ： モーターバイク走行による生体負担の季節変動、第 53 回日本産業衛生学会。

Sato, M. (1961) : Response of paccinian corpuscles to sinusoidal vibration. J. Physiol., 159, 391-409.

Seyring, M. (1983) : Erkrankung durch Arbeit mit Pressluftwerkzeugen, Archiv fur Gewerbepathalogie und Gewerbehygiene, 1, 376-379.

Sherrick, C. E. (1953) : Variables affecting sensitivity of the human skin to mechanical vibration. J. Experimental Psychology, 45, 273-282.

Stevens, S. S. (1957) : On the psychological law. Psychol. Rev. 64, 153-181.

Talbot, W. H., Darian-Smith, I., Kornhuber, H. H. and Mountcastle, V. B. (1968): The sense of flutter-vibration comparison of the human capacity with response patterns of mechanoreceptive afferents from the monkey hand. J. Neurophysiol, 31, 301-335.

富永洋志夫 (1973) : 局所振動の指先振動感覚におよぼす影響、労働科学 49, 17-25。

Verrillo, R. T. (1962) : Investigation of some parameters of the cutaneous threshold for vibration. J. Acoust. Soc. Am., 34, 1968-1973.

山田信也 (1969): 振動障害の経過、労働の科学、 24、17-26。

渡部真也 (1974): 振動障害対策の現状、労働安全衛生広報、No. 138、26-31。

Weitz, J. (1941) : Vibratory sensitivity as a function of skin temperature. J. Exp. Psychol., 28, 21-36.

第四章
ビデオ表示端末の反射防止策の評価

概要

本章では、マイクロエレクトロニクスの開発・発展によりコンピューターの表示端末として急速に普及しつつあるビデオ表示端末の取り扱いによる目の症状の発生と、その原因と考えられるビデオ表示端末の特性を検討した。

さらに、ビデオ表示端末の光学的特性のなかでもとくに、画面からの反射光の視器への影響を減じるために、画面に施されている種々の反射防止策の反射抑制効果ならびにその他の光学的特性への影響を明るい文字が暗い背景に表示される陰画表示の端末について評価した。

本研究の特徴は、種々の目の症状の原因をなすと考えられるビデオ表示端末の光学的特性を明らかにしたこと、 Fellmannら（1982）の方法を改良、応用して、反射グレア測定を加え、ビデオ表示端末の反射防止策の効果と問題点を評価した点にある。

本研究は、陰画表示法の場合、反射抑制効果の高い反射防止策のみを施したのでは、一概に視覚的負担の軽減は期待できず、良好な陽画表示法の開発の必要性を示したことに意義があると考えられる。

尚本章は、日本人間工学会誌、人間工学に投稿中の原著論文

西山勝夫：ビデオ表示端末の光学的特性の人間工学的評価

に基づいて記されている。尚、本研究は、スイス連邦立工科大学の衛生学・人間工学研究所で、E. Grandjean 教授の指導で行なわれた共同研究の一環である。

第一節　ビデオ表示端末取り扱い者の目の症状

日本において、ビデオ表示端末作業者の健康障害に関心が示され始めたのは、1980年代に入ってビデオ表示端末付パソコンが急速に普及し始めてからといってよい。しかし、欧米では、1970年代初頭から実態調査研究が報告され、1970年代後半に入って実験的研究も開始され、1980年には、イタリアでGrandjeanら（1980）により「Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals」の国際学会も開催された。そして、ビデオ表示端末作業についての基準、勧告等もいくつか出されてきた（Arbetarskyddsstyrelsen, 1978；DIN Norm, 1981など）。本節では、欧米の研究により報告されているこれら作業者の目の症状を概括し、ビデオ表示端末の問題点を明らかにする。

目の疲労症状について、今までの主な研究結果をまとめて、表4－1に示した。ビデオ表示端末作業について初めて報告があったのは、スエーデン国立労働安全衛生研究所のグループによるものであった。これらの研究には比較の対象となる群（以下、対照群という）の調査が含まれていないという統計学的問題点はあったものの、それ以前に実施されていた他の職種の有症率からみて、目の疲労症状の訴え率は、かなり高かったことが問題とされた。そして、従来の労働生理学、人間工学的知見等を基に、1978年には、政府の指導要領 No. 136（Arbetarskyddsstryrelsen, 1978）が発令されている。

西ドイツではCakirら(1978)の研究が、同種のビデオ表示端末作業でも歩合給では固定給よりも訴え率が高く、またプログラマーには比較的訴えが少ないことを示している。

アメリカではSmithら(1980)が、作業管理の厳しい職場とそうでない職場で、同種のビデオ表示端末作業従事者について調査した所、作業管理の厳しい方が多くの項目について訴え率が有意に高いことを示している。

フランスではEliasら(1980)が、婦人ビデオ表示端末作業者でデータ入力作業と会話型作業で比較した場合、前者の方が訴え率が高いことを示している。

ニュージーランドではCoeら(1980)が、ビデオ表示端末作業者の方が対照群より目の疲労症状が強いこを示すとともに、1日4時間以上作業群の方が、1日4時間以下に比べて訴え率の高いことを明らかにしている。

スイスではReyら(1980)が、対照群に比べてビデオ表示端末作業者の訴え率が高く、

表4－1　ビデオ表示端末作業者の目・視覚の障害

国名	報告年	症状	愁訴率		備考	報告者
			ビデオ端末作業	対照		
スエーデン	1973	目の不快感、頭痛	47%	－		Hultgren & Knave
	1977	ひどい目の不快感	46	－		
		作業後も続く目の不快感	47	－		Gunnarsson & Östberg
	1979	目の疲れ　時々	62	－	新聞編集	
		毎日	38	－		Gunnarsson & Soderberg
	1980	目の疲れ　時々	67	－	営業	Gunnarsson & Soderberg
西ドイツ	1978	強い目の疲れ	85:68	－	歩合給：固定給	Çakir ら
イタリヤ	1980	VDT就労時の目の異和感	50	－	62人の非会話型のVDT作業者	
		目の障害の原因はVDT	75.8	－		Ghiringhelli
アメリカ	1980	目の疲労が早く発症	61	－	新聞編集 対照は紙と鉛筆	Shipley ら
	1980	目の疲れ ※※	90 80	61 61	74人のVDT作業者 42人の対照作業	
		目がかすむ	75	52	管理のきびしい職場	
		目があつい	72	47		
		目がちかちかする ※※	52	36		
		色がおかしい	45	21		Smith ら
フランス	1980	目がちくちくする	70:53	－	婦人作業者 データ入力：会話型	
		目がかすむ	42:23	－	89人　81人	
		視力低下を感じる	27:21	－		
		頭痛	70:53			Elias ら
ニュージランド	1980	目の疲労症状群	50	33	VDT作業者257 対照　124人	
			58:35		常勤：パート	Coe ら
スイス	1980	目の疲れ	75	50	対照作業は事務時計製造、彫版	Rey & Meyer

※※142人のVDT作業者：93人の対照　自主管理の多い職場

１日６～９時間のビデオ表示端末作業群の方が１日４時間以下群に比べて訴え率が高いことを示している。

また Läublіら(1981) は、ビデオ表示端末作業については、対話型及びデータ入力型、対照作業として、タイプ及び従来の一般事務の４群について調査を行ない、目の頻発症状については、会話型群の訴え率が高いが、症状の持続については、データ入力型群の方が問題のあることを示している。

Çakirら(1978), Rey(1980), Läublіら(1980), Coeら(1980), Dainoffら(1982)は、臨床眼科学的検査についても検討しているが、自覚症状を説明しうるだけの臨床所見を得るのに成功していないし、実験室的研究でみられたビデオ表示端末作業負荷による眼の調節機能や両眼視機能への影響も見い出していない。

従来の製文書処理作業とビデオ表示端末作業の間の目の症状の違いを実験生理学的に評価しようという研究は、作業効率への影響などを調べるパーフォーマンスの研究(Bauer, 1980; Radl, 1980) に比べてほとんどなされていない。

Haiderら(1980) は、黄色ないし緑色のモノクロ表示のビデオ表示端末を用いて３時間の作業を熟練したオペレーターに行なわせ、一般事務作業に比べて一時的な視力低下、色覚異常が有意に大きく、回復にも１０分あるいはそれ以上を要していることを認めた。

以上の症状は、視器の不快感、異和感ないし、視覚の異常を主とするものであったが、Zaret(1981) は、1977 年にニューヨークタイムス社の２人のビデオ表示端末による校閲者の白内障について、鑑別診断をした結果、非電離放射線によるものであり、その発生源としてビデオ表示端末を初めて指摘した。その後の彼の症例研究により、かってＸ線や、マイクロウェーブで水晶体に何らかの障害を受けた者の場合には、ビデオ表示端末作業により、白内障の発症も促進されることなどを述べている。

ビデオ表示端末作業者の間で問題となった以上の目の症状について整理すると以下のようになる。

１）目及びその附属器や周辺部の不快感、異和感の症候群

２）視覚の異常・機能低下の症候群

３）視器の器質的障害（病的な組織の変性）

第二節　画面の視覚的負担要因

1．はじめに

これまでの調査、研究により、ビデオ表示端末作業者に目の症状がより多くみられるのは、従来事務所で取り扱われていた手書きないし印刷文書にはみられない視覚的負担要因がビデオ表示端末画面にあるためであることが次第に明らかにされてきた。しかし、挙げられた要因の人体への作用の機構についての生理学的ないし病理学的研究は始まったばかりといえる。またビデオ表示画面のもとになったテレビジョンについてのいくつかの研究結果は、テレビジョンの至適な視距離は、画面高の７～８倍ということを前提に進められたので、ビデオ表示端末作業のような至近距離での連続・長時間注視に直接適用できるかどうか疑わしいという問題がある。

以下では、ビデオ表示端末の視覚的負担要因として、これまで指摘されてきた画面の特性について整理して述べたい。もちろん、画面の特性は、ブラウン管を収納しているケースの他に、キーボード、机、原稿などの文書や壁などの光反射特性、色彩やそれらの相対的位置関係、環境、照明・採光の照度・グレア等の影響と総合されて視覚的負荷を構成するのはいうまでもない。その意味で、画面周辺の問題も必要な限りにおいてふれる。

2．陰画表示の負担

現在一般に使用されている文字表示法は、暗い背景に白や緑などの明るく輝く文字を表示する方法である。これらは陰画表示法（英語では、 negative presentation あるいは positive contrast）と呼ばれている。

陰画表示の場合、画面全体の輝度が低いために、瞳孔が散瞳する。すると焦点深度が浅くなり、網膜に鮮明に結像する範囲が狭ばまり、明視のためには眼のレンズといえわれる水晶体の厚さの頻繁な調節がいっそう必要となる。また、原稿やビデオ表示端末周辺の環境の輝度との差が大きくなりすぎるために、視線をかえるたびに瞳孔径のより大きな変化が頻繁に必要になる。このような視覚的負担を考慮して、アメリカ照明学会（IES 1972)は、視対象の輝度対比について作業対象とその周辺の間で、 3:1 以内、作業対象とそれより

離れた面との間で、事務室では 5:1、工場では 10:1 以内を推奨している。Läubliら(1980)は、現場調査において輝度対比が実際に目の症状に関係していることを明らかにした。

3．反射光の負担

ビデオ表示端末周辺から画面に入射する光は、鏡のように、あるいは拡散して反射され、眼に入る。照明器具などが写る場合のように、反射光量が画面の場所によって大きい差があると、まぶしい光が目に知覚され、不快感や作業能力の低下などを引き起す。これはそれぞれ不快グレア、減能グレアとよばれている。視線は明るい物に自動的に向けられるという向光反射があるので、所定の部分を注視してビデオ表示端末作業を行なうためには、この反射を絶えず抑制しなければならない。

まぶしい光の反射がなくても、反射光のために画面全体が明るくなると、文字とその背景（以下、地と称す）の間の輝度対比が小さくなり、文字がみえにくくなる。これは光幕反射による対比損失と呼ばれる。後述するように、画面に表示される文字のにじみやぎらつきをへらすために、文字の輝度は低く調節され使用されることが多い。文字と背景の輝度対比は 1:20 以上が望ましいといわれている（高橋、1938; Brownら、1982）が、これよりかなり低いことが Läubliら(1980) により明らかにされている。

さらに、画面に鏡のように周辺のものやビデオ表示端末取り扱い者自身が写ってみえるビデオ表示端末がある。近くの画面に表示されている文字から遠くにみえる反射像まで、いろいろなものが視覚の対象とならざるをえない。そのため、画面に表示されているものだけに眼の焦点調節や両眼視を維持することは、妨害されやすくなる。すなわち、二重像が見えたり、左右の目に別々の像が写るように見える視野闘争、焦点調節の乱調などが起りやすくなる。従って画面の拡散反射、鏡面反射を減じることは非常に重要といわれてきた。

4．一文字当りのドット数と読みやすさ

ビデオ表示端末画面の文字表示は、鏡から放射される電子ビームが、偏向ヨークで偏向

されて、蛍光面に当ることによって、蛍光体が光ることを利用して行なわれている。

大文字の英字がドットで表示される場合、 7×5 が必要とされる。最小ドット行列で 9×7 になるとかなり文字の質が改善される。英数字に比べて日本語文字は非常にたくさん種類があり、字画も複雑であるから、大きいドット行列を要するので非常に大きな記憶容量が必要とされる。多くの漢字を記憶させた超小型で廉価な記憶素子が製造可能となったが、何個のドットをつかって日本語文字を表すかにより、可視性、可読性はことなってくる。

現在のところ、 16×16 ドットが最も普及し、次いで 24×24 ドット方式である。新聞製作などでは、 48×53 ドットも用いられている。しかし、画面では、 16×16 ドットが大多数である。このように少ないドット数でどのように文字を表すかも問題となっている。

5．走査線の数と太さ

この走査線の本数が少なく、走査線が細いと文字を表すドットとドットの間が分離して表示される。

6．画面のちらつき

電子ビームが高速に走査して、所定の点で蛍光体を刺激したあと蛍光体に電子が当らなくなると蛍光はすぐに減衰する。短いものでは 20 μs でピーク値の 10 % 迄に減衰する。したがって、十分頻繁に電子ビームが所定の点を走査しないと、文字を表す点が光ったり消えたりするのが見えてくる。

日本で現在多く使用されているビデオ表示端末の場合、同じ点を繰り返して走査する回数は1秒当り 60 回、すなわち 1秒間に 60 回画面全体が書き換えられている。これを画像書き換え周波数 60 Hz（その他に、フィールド周波数、リフレッシュ周波数、交照周波数、ラスター周波数ともいわれる）という。この周波数は、人がちらつきを感じうる値（フリッカー値という、参第二章第三節）に近い。従って蛍光体の特性や個人差などによって、ビデオ表示端末の画面がちらついて見えることが起る。

また、蛍光の減衰特性が異なったものを使用して、同じ走査速度で等しい輝度を得よう

とすると、減衰時間の速い蛍光体の場合、最高輝度を非常に大きくしなければならない。

Läublіら(1980) は現場調査で、平均輝度に対する最大輝度の大きいビデオ表示端末ほど目の疲労症状の有症率が高いことを示した。

フリッカー値の研究では、ちらつきは、点滅部分の輝度が高いほど、又、点滅面積が広いほど知覚されやすいことが示されている (Kelly, 1964 など)。したがって、ビデオ表示端末の画面も明るくする程、そのちらつきが見えやすくなる。

7．蛍光の波長分布

可視光線が眼に入ると、色収差のため焦点の位置が少しずつ異なってくる。 Fincham (1951) は、眼の焦点調節にはこの色収差が重要な役割をしていることを示している。したがって、非常に波長分布（スペクトル）の狭い光では、焦点調節の負担が増大すると考えられる。ビデオ表示端末に用いられている蛍光体の蛍光波長の分布は、多種多様であるが、波長分布の狭い蛍光しか出せないビデオ表示端末は、より視覚的負担が大きいといえよう。 また、特定の色を見続けたあと、視線を変えると色がおかしく見えるという一時的な色覚異常が起る。ビデオ表示端末取り扱い者に色がおかしく見えるという訴えが多いと言われるのも、蛍光の波長分布に関係していると考えられる。

カラービデオ表示端末の画面には、赤・青・緑の３原色を出す、種類の異なる蛍光体が互いに隣接して塗布される。そこへ３本の強さの異なる電子ビームが当ることにより、電子ビームの強さに応じて３原色が種々の強さに光る。これらの光点は 0.2～0.4 mm 前後と小さいので、通常人間の眼には３原色の混合された色が見える。カラービデオ表示端末で作業する場合には、赤・青・緑のどれか一色だけを用いた場合、これらを混ぜ合わせた場合に比べて波長が狭くなるので、負担が大きくなると考えられる。

また、カラービデオ表示端末の場合、３原色を出す各蛍光体により蛍光の減衰時間がことなるため、カーソルなどを動かしたり点滅させると、尾をひくように長時間減衰特性を有する蛍光の色が見えるものもあり、ビデオ表示端末取り扱い者に不快感を与えている。

8．文字と背景の輝度対比

文字と背景の輝度対比は前述したように 20:1 が良いといわれている。しかし、文字の

輝度をあげると文字がにじんで、遂には隣の文字と融合するビデオ表示端末もある。また、文字の輝度をあげると同時に背景輝度が上昇したり、背景色や走査線が見えたりするものや、文字がちかちかと光ってみえるものもある。したがってやむをえず、輝度を低く調節して使用している取り扱い者がいる。この場合第２項で述べたように調節の負担等が増すと考えられる。

９．文字輪郭の明瞭性ないし鮮鋭度

ビデオ表示端末で表示される文字の輪郭には不明瞭で、ぼけてみえるものが多い。

１０．文字の輝度の安定性

すでに述べたように、文字は蛍光体が光ることにより表示されている。しかし、この文字の輝度がかなり不安定なものがある。Läublіら(1980) は、やはりこの特性が不良のものは、訴え率が高いことを現場調査により明らかにしている。

１１．文字の形と大きさ

文字は普通、ドットで表されている。一文字当りに使用されるドット数が少ないため不自然で、滑らかな線であるべきなのに階段状の字画などになってしまう機種が多い。

文字の大きさは視覚 24 分すなわち明視距離で文字高は 3〜4 mm、文字幅は文字高に対して 50〜75 %、視野の中心に８文字ぐらい入るようにするのが好ましいと言われている（例えば、Krüger, 1980）が、日本語表示について普及しているビデオ表示端末にはそのような高精細度のビデオ表示端末はまだみられないし、文字高が 3〜4 mm でよいのかどうかも確かめられていない。

文字のストロークの幅については、Snyderら(1978) は、陰画表示の場合文字高の 1/10、陽画表示の場合これより少し太めがよいとしている。

１２．文字間隔と行間隔

文字輪郭が不明瞭で文字間隔が狭いと隣接文字が融合して可読性が低下する。

行間隔が文字間隔と同じような場合でもやはり可読性は低下する。

Shurtleff(1980) は、文字幅に対して、文字間隔は 20〜50 %、行間隔は 100〜150 % を推奨している。

１３．放射線

ビデオ表示端末からは、X線からマイクロウエーブに至る迄の広範囲の電磁波を放出している。電離放射線や、赤外線、マイクロ波は、白内障を、紫外線は、眼炎、角膜炎を起すことがしられている。ビデオ表示端末からの放射線量は低量であるが自然（背景）放射線量を越えるものも多い。今までほとんど生体への影響が研究されていなかった波長域の電磁波も問題となっている。

いずれにしても、従来の事務作業では、全く暴露されることのなかった放射線についてビデオ表示端末の導入により、事態が一変したのである。これらの放射線のシールドが十分施されてないということも視器の障害の要因として議論されている。

１４．画面の高圧静電気

ビデオ表示端末の高圧静電気は、顔面皮膚炎を起すという報告（Rycroffら、1980; Tjønn、1980） があるが、Dreyer らは、著者が訪れたとき(1982)、ビデオ表示端末取り扱い者の「目の乾き」、「目の刺激症状」もビデオ画面の高圧静電気による画面周辺のイオン雰囲気変化が涙及び涙器に作用するという仮説で研究を進めていた。

１５．その他

鈴村(1969) によれば、眼精疲労の原因の一部として音刺激、温度・気象刺激をあげている。ビデオ表示端末はかなりの放熱があり、空冷のためにファンをとりつけたものや、又プリンターと一体となったもの、あるいは、プリンターが周辺におかれたりして、特有の騒音に暴露される場合が多いことが指摘できる。

１６．ビデオ表示端末と周辺環境の相互作用

第３項で述べたようにビデオ表示端末の反射特性のために、端末周辺の採光・照明が反射して視覚的負担となる影響は非常に大きい。しかし、このような点を配慮してビデオ表示端末の設置場所が決められたり、室が建築・内装されることが非常に少ないことも指摘できる。

以上に示したビデオ表示端末が有する視器への負担要因は、以下のようにまとめられる。

１）表示される画像の時間的特性に関するもの

画像書換え周波数

蛍光の減衰特性

輝度の安定性、文字の揺動

２）表示画像の空間的特性に関するもの

表示極性（陰画／陽画）

一文字当りのドット数

走査線の数と太さ

文字と背景の輝度対比

文字の輪郭の鮮鋭度

文字の形と大きさ

文字間隔、行間隔

３）環境との相互作用特性に関するもの

可視光の反射

高圧静電気

４）発生する電磁波のスペクトルに関するもの

可視光の波長の相対強度分布

Ｘ線

非電離放射線

５）その他

騒音

放熱

第三節　反射防止策の効果の測定評価

1．はじめに

前節で、目の症状の原因となりうるビデオ表示端末の特性が挙げられ、画面からの反射光が視器への負担をもたらすことが示された。この場合、最も本質的な改善は、周辺環境ではなく、ビデオ表示画面そのものの反射作用を抑制することは自明であろう。1980年に入ってヨーロッパではほとんどのメーカーが何らかの反射防止策を講じ始めた。その方法としては、

1）反射防止用ガラス（ないしプラスチック）を画面の枠に取り付ける
2）繊維製のマイクロメッシュを（1）と同じ方法で利用する。
3）可視光線の種々の波長の 1／4 の厚さの多層コーティングを画面に行ない、位相差により入射光と反射光を相殺させる。
4）画面のガラス表面をきめの細かいすりガラス状にする。
5）特別な塗料を画面に塗布する。
6）フードをとりつけ、周辺の光の入射を抑制する。

などの方法が試みられてきた。

しかし、これらの反射防止策の効果の如何についての評価法は、定まっている訳ではない。本研究では、某社の３台のビデオ表示端末について、その反射防止策の効果を検討する機会をえたので、Fellmannら(1982) の方法を改良し、反射グレアの測定を加え、これらの機種についての人間工学的な光学特性を評価、検討した。

2．測定対象

本節では、某メーカーの反射防止策の異なる機種について測定し対象とした。すなわち

機種Ａは、無光沢の黒いナイロン繊維で編んだ直進光のみを透過させるマイクロメッシュを画面表面に直接接着剤にて接着して、反射防止策を施したものである。蛍光体 P4 が使用され文字の色は、白であった。

機種Ｂは、画面のガラス表面に微少砂粒を吹き付けたあとフッ素処理をして摺りガラス

状にした反射防止策がとられていた。蛍光体はやはり P4 で、文字の色は白であった。地は灰色であった。

機種Cは、画面表面に、こはく色の透明塗料をスプレーした反射防止策がとられていた。蛍光体は、P20 が使用され、文字の色は緑であった。

３機種ともノンインターレース方式で画像書き換え周波数は 60 Hz で、一画面に 1920 個(24 行×80 桁) の英数字表示が可能であった。

３．測定方法

３－１　測定時の照明

普通、画面の中央の照度が 160 lx、20° 傾斜した文書台での照度が 400 lx に設定した原稿の輝度は 80 cd／m^2 となった。但し、一部の測定については暗室状態で行なわれた。測定項目とその方法は以下の通りである。

３－２　反射グレア、反射率

画面に施された反射防止策の評価のために、25 W, 100 W, 500 W のタングステン灯を画面中央に対して、入射角 30° 、距離 1.5 m となるような位置に置いた。そして光源がちょうど画面中央から反射するようにして光源の反射グレア及び他の画面の部分の反射光の輝度を画面からの距離 60 cm の位置で、Tektronix の視角 1° の測定径を有するディジタル・ホトメーター「Ｊ　6523-2」、「Ｊ 16 」で測定した。

反射率については、上記状態で画面の端８ヵ所の輝度をディジタル・ホトメーターで測定して求めた。

３－３　地、ビデオ表示端末ケース、キーボード、原稿の輝度対比

３－１で述べた、照明条件の下で、前記の Tektronix のディジタル・ホトメーターを用いて、文字が全く表示されていない状態の画面（地）の左右の上端、左右の端、中央、左右の下端、中央の上下端、中央の９ケ所の輝度及びビデオ表示端末ケース、キーボード、原稿台上の印刷文書の輝度を 50 cm の距離で測定した。

３－４　文字と地の輝度対比、文字輪郭の鮮鋭度

Fellmannら(1982) の開発した直径 80 μm の円点の輝度が測定できる顕微測光器を用い、暗室にて平均輝度の空間的変化（一次元）を記録紙に出力させた。図４－１に示すように、大文字列「UUU」の中ほどを水平方向に分速 5 mm で、顕微測光器を左から右に操作させた。

こうして得られた記録紙から図４－１に示されるように、文字の字画を表す部分の最高輝度 Lm と地の輝度 Lb を比較した。地の輝度については、文字内中点、文字と文字の間際の２点を測定（各々 Lmu、Lmuu）し、輝度対比 Lmu／Lm と Lmuu／Lm を求め文字と地の輝度対比の指標とした。

さらにその際に得られる文字と地との境界の輝度曲線上の輝度最大値の 30 % と 70 % の点を結ぶ直線を求めた。そしてこの直線が地の輝度レベルと最高輝度レベルと交じわった点の間の走査距離 r mm を文字輪郭の鮮鋭度として求めた。Fellmannら(1982) は、文字の鮮鋭度の指標として、前述の接線の傾斜角を用いていたが、これでは、視角の弁別との関係に直接関連をつけ難い。本指標 r の場合、視距離が決まれば、視角が求められ、認知しうる程度のぼけかどうかという検討が容易と考えられた。これらの測定の際の文字の輝度は、調節輝度の平均値（30 cd／m^2）に設定された。

３－５　画像書き換えによる輝度の瞬時変化

ビデオ表示端末では、文字をあらわす光点の輝度は、電子ビームにより励起された蛍光体より得られる。したがって文字の輝度は画面の画像書き換え周波数に同期して周期的に変動する。この輝度の変化の大きさとして、以下に定義されるオシレーション度 a が用いられた。

$$a = \sqrt{\sum_{n=1}^{20} An^2} \,/\, Lm$$

An：輝度変化のフーリエ分析による n 次高調波の実効値，n=1の場合が基調波に相当する。

Lm：平均輝度、フーリエ分析の場合の直流分に相当する。

このオシレーション度 a は、輝度変化の直流成分と交流成分の割合を示す指標といえる。この他に、オシレーション度をあらわす指標として

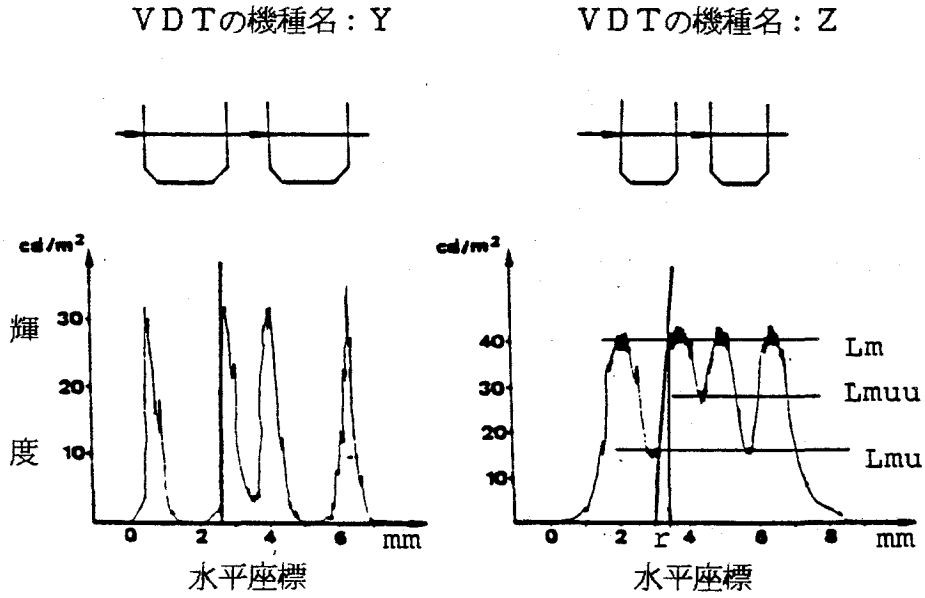


図４－１　文字のコントラストと輪郭の鮮鋭度評価法

文字のコントラストの良さ：Ｌｍ／ＬｍｕとＬｍ／Ｌｍｕｕ、

Ｌ添字は各点の輝度

Ｌｍ　　：文字Ｕの垂直字画部の最高輝度

Ｌｍｕ　：文字Ｕ内の点の最低輝度

Ｌｍｕｕ：文字ＵとＵの間の点の最低輝度

文字の輪郭部の明瞭さ：文字を表わす線の境界での地の輝度から

最高輝度までの幅（ｍｍ）にて評価

P = An / Lm, n=1　や

U = 瞬時変化の最高輝度／瞬時変化の最低輝度

も用いられている（Beyerら、1962)。

測定領域は、直径 0.08 mm の円点と 50×70 mm² の矩形であった。円点の輝度については、顕微測光器を用いて検出した。矩形については、8 mm 撮影機を改造して、8 mm フイルム位置に集光された光を光ファイバーで導出した。これらの光は、フォトマルチプライアーに入力され計測された。平均輝度値 Lm を得るために、Beckmann の DC 電圧計 RM 3030 を各調波の実効値振幅（An）を得るために、Ballantine の AC 電圧計 323 true RMSを用いた。フーリエ分析は、Brüel & Kjær のスペクトル分析器 2031 型を用いた。測定は暗室のもとでも行なわれた。画面の輝度は各機種とも最大輝度ないし、取り扱い者の調節輝度の平均値（ 30 cd／m²）に設定された。

３－６　文字の輝度安定性

前述の顕微測光器で、文字「U」の垂直字画の部分の中央付近のドットの平均輝度を数十秒連続的に記録した。そして、図４－２に示されるように、周期的変動を示すものやランダム変動を示すものもある。これらの文字の輝度安定性の指標として、平均輝度の最大値 Lm に対する平均輝度の変動幅 ΔLm を求めて、それらの ΔLm／Lm を文字の輝度安定性の指標とした。

３－７　文字の大きさ

表示された文字を顕微測光器で上下左右に走査して、顕微測光器の移動距離と測定された輝度変化により文字の幅、高さを測定した。

３－８　他機種との比較

本研究での測定結果とその他のメーカーの代表的な機種 10 台について行なわれた測定結果の比較を行なう。

これら 10 機種のなかには可視光線波長の 1/4 波長の膜厚の特殊なコーティングを数層行なったもの、布製のマイクロメッシュフィルターをビデオ表示端末を画面の枠にとりつけて使用するものなどが含まれている。

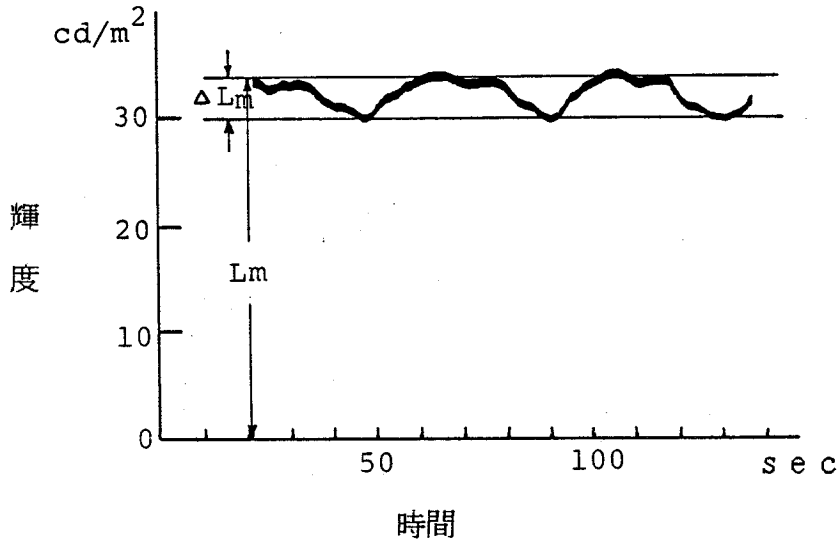


図４－２　文字の輝度安定性（Ｓ）輝度測定径は０．０８ｍｍ

文字Ｕの垂直字画部中央にて連続測定

Ｓ＝△Ｌｍ／Ｌｍ

△Ｌｍは輝度の変動幅

Ｌｍは輝度の最大値

４．　結果

４－１　画面の反射率・反射グレア

画面、ビデオ表示端末ケース、キートップの反射率を表４－２に示した。機種Ａは反射防止策として用いられているマイクロメッシュにより反射量がかなり低下している。

機種Ｂは、反射率が、最も高い部類に属している。ビデオ表示端末ケース、キートップについては、機種間に差は認められず、低い部類に属している。

画面からの環境照明光源の反射グレアの輝度測定結果を表４－３に示した。

機種Ａは、マイクロメッシュフィルターにより反射グレアの輝度はかなり軽減されている。

機種Ｂは、画面がエッチング処理してあり灰色であるが、反射グレア軽減効果は他に比べ 1/5～1/4 程度である。

機種Ｃは、ガラス画面にこはく色の透明塗料をスプレーしたものであり、反射グレア軽減効果は大きい。

以上より反射防止効果は、Ａ、Ｃ、Ｂの順に良好である。他機種と比較すると 1／4 波長コーティングの機種についてＡは反射抑制効果が高いと言える。

４－２　画面の輝度と周辺輝度との輝度差

文字表示のない状態の画面の輝度（すなわち、地の輝度）と原稿、ビデオ表示端末ケースの前面部ないし側面部、キートップ、キーボードケースの輝度対比を地の輝度を１とした場合について表４－４に示した。キーボード全体の輝度はキートップのみの輝度とほぼ同じであった。

輝度対比については、一般に中心視では 1:3 以下、周辺視では 1:10 以下が推奨されている。したがって、ビデオ表示端末ワークステーションにおいて注視頻度の高い画面と原稿の輝度比は 1:3 以下が望ましい。またそれほど注視しないキーボードやビデオ表示端末ケース、机上面と画面の輝度対比は 1:3～1:5 が望ましいとされている。

機種Ｂ、Ｃの輝度対比はこれらの推奨条件をほぼ満足しているので視覚的負担にはなりにくいと思われる。しかし機種Ａは、画面の背景が黒すぎるために、輝度対比が比較的大きい。他の 10 機種の良悪の順位と対応させると、機種Ｂは最上位、Ｃは中位、Ａは最下位の部類に属している。

表４－２　画面の地、ＶＤＴケース、キートップの反射抑制効果
数値は反射率（%）を示す

機　種	画面の地	ＶＤＴケース	キートップ
A	6%	２２%	２７%
B	２６	２２	２７
C	１４	１９	２７
10機種の			
平　均	１１	３０	３０
値　域	４－２１	６－８２	５－６０

表４－３　画面からの反射光輝度（ｃｄ／m²）

	反射光輝度		
機種ないし	照明光源		
反射防止策	２５W	１００W	１５０W
防止策なし	７８－３７５	５２５－２４５０	２５４０－７８３０
A	４	３３	１７３
B	２４	１４５	７９３
C	６	４６	２２３
λ／４コーティング	３	２６	１２０
マイクロメッシュフィルター	４－１１	３３－７２	１７３－４１９
エッチング処理	２１－２８	１４３－１６８	６１３－８８０

表４－４　画面の地、原稿、ＶＤＴケース、キートップ、キーボードケース間の輝度比。画面の地の輝度を１とする

	輝　　度　　比			
	原　稿	キートップ	キーボードケース	ＶＤＴケース
A	１６	１１	１０	８
B	４	３	２	２
C	７	５	４	２
10機種の				
平均	１１	８	１１	４
値域	８－２５	２－１９	１－２７	２－２８

4－3　文字輪郭の鮮鋭度

文字と地の境界の鮮鋭度と文字・地の輝度対比の結果を表4－5に示した。

境界の幅すなわち鮮鋭度は、明視距離においては 0.3 mm 以下が望ましく、0.4 mm 以上だと輪郭がぼけて見える。印刷文書における文字と背景の輝度対比については、1:3～1:10の場合が快適な可読性が得られる条件である。ビデオ表示端末でいえば、字画の近辺の輝度が字画の輝度の 30 % を越えるのは不適といえる(Shurlteff, 1980)。

機種A、B、Cとも、文字と背景の輝度対比は良好で、特に機種Bは、他機種と比べても最良の部類に属していた。しかし、鮮鋭度 r については機種Bのみしか至適範囲になかった。

機種Cは塗装面がデリケートで、接触により容易にかききずができ、文字の鮮鋭度、画面の色彩分布のむらが生じるという問題があった。

4－4　画像書き換えによる輝度の瞬時値の変化の大きさ

表4－6に文字の書き換えによる輝度の瞬時値の変化の大きさについての分析結果を示した。3機種ともオシレーション度はほぼ同じ値で反射防止策の影響は認められない。これらのオシレーション度は非常に大きく、他機種と比べても最悪の部類に属する。

図4－3は、機種Bと他機種の中でも最良のオシレーション度を有する機種Xについて、0.08 mm 径の円点の輝度の瞬時値時間的変化を示している。両者の電子ビームによる励起直後の蛍光の減衰特性に大きい相違がみられる。すなわち、機種Xの輝度減衰時間は、長く、画像書き換え間隔の間に輝度は零にならない。しかし、機種A、B、Cは非常に短い減衰時間で励起後数ミリ秒で輝度は零になっている。そのため、平均輝度 40 cd／m^2を得るために、機種Xのピーク輝度は 75 cd／m^2 で済むのに、機種Bの場合 1000 cd／m^2 以上のピーク輝度を必要とし、大きなオシレーション度を示す。

現在のところ輝度オシレーション度の生理的耐容限界は十分に明らかにされていないが、画面のちらつきが見えないことや、位相調整回路を有する蛍光灯の場合（オシレーション度は約 0.02）を越えないことが望ましいといわれており(Grandjeanら, 1959)、これと比べると、機種A、B、Cのオシレーション度は高すぎるといえる。

4－5　文字輝度の安定性

文字を表わしている字画部分の輝度の安定性の分析結果を表4－7に示した。

表４－５　調節輝度における文字輪郭の鮮鋭度と文字・地の輝度比

ｒが小さい程鮮鋭度は優れている

機　　種	調節輝度	鮮鋭度	文字と地の輝度比	
	ｃｄ／㎡	ｒ（ｍｍ）	文字の内側	文字と文字の間
A	１７	０．４４	５％	１７％
B	２２	０．３３	２	８
C	１７	０．５１	９	２５
10機種の平均	３０	０．３６	７	２４

表４－６　オシレーション度

画面上の５×７ｃ㎡の領域、照度は４００１ｘ

	オシレーション度	
機　種	最高輝度時	調節輝度時
A	１．０	０．８
B	１．０	０．５
C	１．１	０．７
10機種の		
平　均	０．４９	０．２５
値　域	０．１６～０．９４	０．０６～０．５６

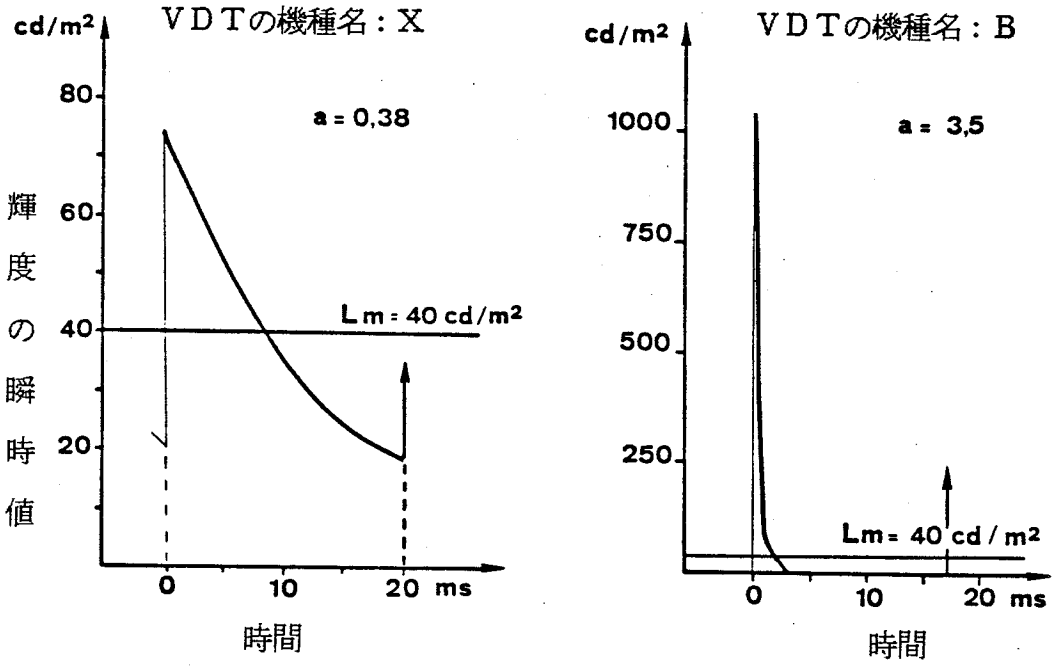


図４－３　蛍光残光減衰特性のことなるＶＤＴで平均輝度を同じにした時の０．０８ｍｍ径ドットの輝度の瞬時値の変化

$a = \sqrt{\sum A n^2} / Lm$

ａ　　：オシレーション度

Ｌｍ　：輝度

Ａｎ　：輝度変動のフーリエ解析によるｎ次高調波の実効値

Ａ　は基調波の実効値

表４－７　文字の輝度安定性

文字内のドットの最高平均輝度に対する輝度の変動幅の割合（％）で示す

機　種	平均変動	変動値域
A	１１	１－２７
B	１２	２－２６
C	７	１－１４
10機種の値域	１－８０	０－９６

もし蛍光体を励起する電子ビーム密度の制御が悪ければ、文字を構成しているドットの輝度は不安定であり、その変動が大きければ、文字のざらつきとして見えたり、瞳孔径の調節等に影響する。

機種A、B、Cは、他機種と比較すると不安定な部類に属している。この不安定性は、画面の場所により異なり、一般に周辺がより不安定であった。文字の輝度の変動幅は平均輝度の 5 % 以上を越えるべきでないとされているが、機種Cがこれにやや近いだけで、機種A、Bとともに変動が大きすぎる。機種AとBの安定性はほぼ同じである。蛍光体P4を使用しているので、文字の輝度安定性には反射防止策の差異は影響していないことがわかる。機種A、Bと機種Cの差には使用蛍光体の差も関与しているものと考えられる。

4－6　文字の大きさ

3機種とも画面の大きさは 16.2×26.8 cm^2（他の 10 機種の平均は 16.5×22.5 cm^2）であった。文字は 7×5 ドット数で構成されている。文字の大きさ等について表4－8に示した。全体として3機種とも第3節で述べられた推奨値を満足し、視距離 70 cm までは支障を生じないといえる。

4－7　総合評価

反射防止策によって影響を受ける主なビデオ表示端末の光学的特性は、

1）画面と周辺にある文書、物体の間の輝度差

2）文字輪郭の鮮鋭度

であった。

黒色のマイクロメッシュフィルターを用いた機種Aは、最も反射防止効果が高かったが、他の光学的特性への逆効果、すなわち、原稿等と画面の大きすぎる輝度差、文字の鮮鋭度の低下が認められた。

機種Cは、Aについで、反射防止効果が高く原稿などとの輝度差もそれほど大きくなかったが、塗装面にきずができやすく文字表示の鮮鋭度について問題が認められた。

機種Bは、反射防止効果が少なくそのために画面と原稿等の間の輝度差は少なかった。文字輪郭の鮮鋭度は最高であったが、画面の反射のために、文字と地の輝度差は最も小さかった。

表４－８　文字の大きさ。画面中央で調節輝度にて測定

	推奨値	P社の画面	10機種の平均
大文字の高さ（mm）	３．０－４．０	３．４	３．３
大文字の幅　（mm）	１．５－３．０	１．９	１．７
文字間隔　　（mm）	０．６－２．０	１．４	１．０
文字の幅と高さの比（%）	５０－７０	５６	５５
小文字の高さ（mm）	－	２．３	２．５
小文字の幅　（mm）	－	１．９	１．６
走査線の太さ（mm）	文字高の１／６以上	０．８	０．５

第四節　光学的特性の改良

本研究ではビデオ表示端末の光学的特性で、文字表示の場合に主に視覚的負担要因となるものについて論じ、陰画（暗い地に明るい文字）表示法の場合について二、三の反射防止策を施したビデオ表示端末について、反射抑制効果をその他のいくつかの要因との関連で測定評価した。いずれの反射防止法も長所、短所があることが明らかにされた。これは、陰画表示法が採用されているからだと考えられる。すなわち、陰画表示法については以下に述べるようにいくつかの問題点がある。

1）一般に事務所の照明は 300 lx 以上、できれば 700～1000 lx が好ましいとされている。したがってこのような事務所で陰画表示のビデオ表示端末を用いれば、画面に比べて原稿やキーボード、ビデオ表示端末ケースその他周辺の輝度はかなり高くなる。この輝度対比の大きい視覚対象の間をしばしば視線を往復させることがビデオ表示端末作業の重要な要素である。Çakirら(1979) によれば視線移動は1秒当り 1～2 回という場合もある。このように急速な輝度変化に対応して、瞳孔径の調節、焦点調節などの視機能が絶えず作動しなければ、目的とする作業は円滑に遂行できない。だからといって、室内照明や局所照明を低下させると他の作業者への影響や、ビデオ表示端末取り扱い者自身が原稿等を読み取りにくくなり、瞳孔が散瞳状態となり、眼のレンズシステムの焦点深度が浅くなるので一層調節の負担が高まるなどの問題が生じる。

2）次に、画面からの反射光、反射像による視覚情報処理系に対する妨害作用があげられる。

第一に、ビデオ表示端末周辺の明るい環境のために生じる反射光により、全体として文字背景の輝度が上昇し文字との輝度対比が低下する。

第二に、照明器具や窓などの光源が反射し反射グレアが生じやすくなることである。

第三に、ビデオ表示端末周辺の物体や人物が反射されて鏡像がみえることにより、両眼視機能に対する干渉や、調節系の乱調も起りやすくなる。

これらの反射の影響を防止するために、反射率を低下させすぎると、本研究でも明らかとなったように、画面が暗くなりすぎ、周辺との輝度対比が過大になるという矛盾が生じる。

以上の問題点を一挙に解決する方法として陽画（明るい地に暗い文字）表示法があげられる。この場合、日常の印刷文と類似した表示法でもあるのでより自然であるという利点もあげられる。しかし、現在最も普及しているビデオ表示端末では、走査線数が少なく、空間的精度も粗く、画像書換え周波数も低いために、図４－４に示すように、字体が不自然で文字の輪郭が不明瞭となり、画面のちらつきやゆらつきなどが見える。そのために、ビデオ表示端末取り扱い者は、陽画表示法を好まないともいわれている。しかし、Radl (1980) は、画像書き換え周波数 66 Hz にした場合陰画に比べて陽画の方で、作業の快適性、エラー率という指標で良好な結果をえている。また、Bauerら(1980) も、画像書き換え周波数 100 Hz、背景輝度 80 cd／m^2 で、陰画に比べてエラー率、反応時間が少なくなることを示している。

したがって、走査線を多くし、高細精度表示とし、画像書き換え周波数も上昇させたビデオ表示端末の開発と、その場合に評価すべき光学的特性の測定指標の確立が今後の課題といえる。

本研究では、分光光度計を有しなかったために、ビデオ表示端末が発生している光のスペクトルを分析できなかったが、 Haiderら(1980) の実験的研究に示されるように、ビデオ表示端末作業により色覚が一時的に変化するということや、Fincham(1951) の色収差が眼の調節作用に重要な役割を果しているという研究などがあるので、今後、光波長のスペクトル分析、評価も必要であろう。また赤、緑、青の３原色によるカラー合成の場合の各原色のドットの大きさや空間的分布の測定評価も今後の課題といえる。

さらに、文字輝度の安定性については、文字を構成している特定のドットについての輝度の安定性の連続記録を行なったが、この場合、電子ビームの密度と位置の両方の不安定性の組み合わされたものを測定していることになる。今後、これらを分離して文字輝度の安定性の測定評価ができることが望ましい。

文字の大きさ等については、ビデオ表示端末の空間的精度がまだ低いので、日本語については、まだ小さい文字の表示が困難であり、ビデオ表示端末上の望ましい条件を実験的に検討できない問題がある。

以上、文字表示の場合を主にして第二節のまとめの (2) で表示画像の空間的特性に関するものとしてあげた要因について検討を加えた。しかし、これらの要因の大部分について、目の疲労症状や視機能の一時的変化との関係についての生理学的評価が行なわれていない。ビデオ表示端末の光学的特性を最低どの程度迄改良すべきかを具体的に明らかにす

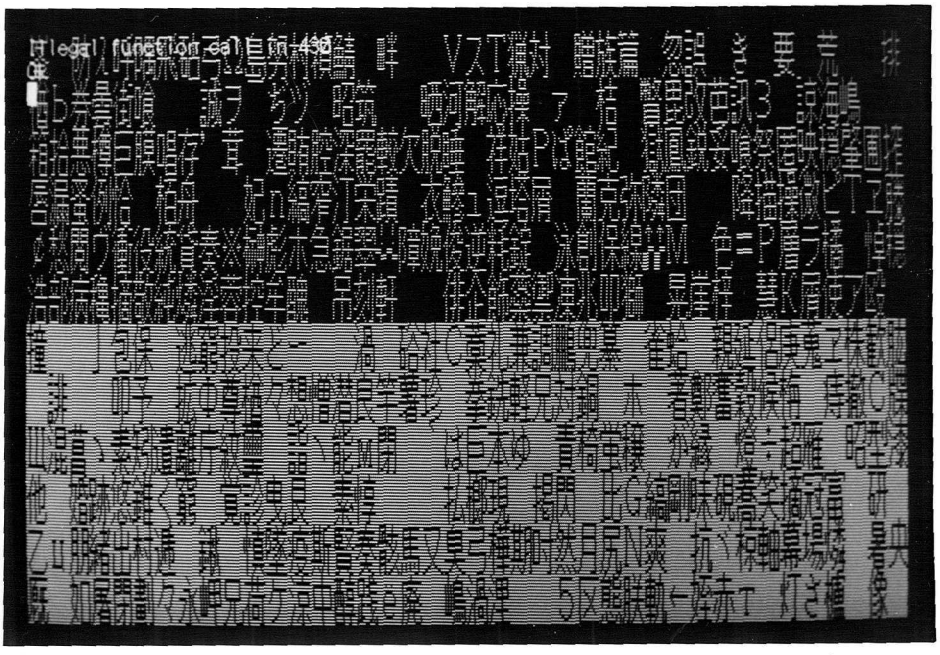


図４－４　日本語の陰画表示と陽画表示の比較

640 × 200ドットのＶＤＴで表示

るためにも、今後、なされねばならない研究課題は多い。さらにこれらを踏まえて、図形処理の場合の光学的特性の視覚的負担を明らかにし、測定評価することも CAD が普及しつつあるので今後一層重要になると考えられる。

文　　献

Arbetarskyddsstyrelsen (1978) : Reading of Display Screens. Directives No. 136, Stockholm.

Bauer, D and Cavonius, C. R. (1980) : Improving the legibility of visual display units through contrast reversal. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, 137-142, Taylor and Francis, London.

Beyer, A. and Krochmann, J. (1962) : Untersuchungen über eine das Flimmern kennzeichende Formal. Lichttechnik, 14, 446-451.

Brown, B. S., Dismukes, K. and Rinalducci, E. J. (1982): Video dispalay terminals and vision of workers, Summary and overview of symposium. Behaviour and Information Technology, 1(2), 121-140.

Çakir, A., Hart, D. J. and Stewart, T. F. M. (1979) : The VDT Manual. INCA-FIEJ Research Association, Darmstadt.

Çakir, A., Reuter, H. J., von Schmude, L. and Armburster, A. (1978) : Anpassung von Bildshirmarbeitsplatzen an die physische und psychische Funktionsweise des Mensche. Forschungsbericht Humanisierung des Arbeitslegens, Der Bundesminister für Arbeit und Socialordunung, Bonn.

Coe, J. B., Cuttle, K., McClellon, W. C., Warden, N. J. and Turner, P. J.(1980): Visual Display Units. Report W/J/80, New Zealand Department of Health, Wellington.

Dainoff, M. J. (1982) : Occupational stress factors in visual display terminal (VDT) operation : a review of empirical research. Behaviour and Information Technology, 1, 141-176.

DIN Norm (1981) : Entwurf No. 4549, Schreibtische, Büromaschinentische und Bildschirmarbeitstische. Beuth Verlag, Berlin.

Elias, R., Mayer, A., Cail, F. and Christmann, M. (1980) : Investigation in operators working with CRT display terminals; relationships between task content and psychological alterations. In : Grandjean, E. and Vigliani, E.(ed): ibid, 211-217.

Fellmann, Th., Bräuninger, U., Gierer, R. and Grandjean, E. (1982): An ergonomic evaluation of VDTs. Behavior and Information Tech., 1, 69-80.

Fincham, E. F. (1951) : The accommodation reflex and its stimulus. Br. J. Ophthal 35, 381-393.

Ghiringhelli, L. (1980) : Collection of subjective opinions on use of VDUs. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : ibid, 227-231.

Grandjean, E., Horisberger, B., Habas, L., Steinlin, H. and Abt, K. (1959) : Arbeitsphysiologiche Untersuchungen mit verschiederen Beleuchtungs Systemen an einer Feinarbeit. Ind. Organisation, 28, 231-239.

Grandjean, E. and Vigliani, E. (1980) : Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals. Proceedings of the International Workshop. Milan, 17-19 March 1980, Taylor & Francis, London.

Gunnarsson, E. and Östberg, O. (1977) : Physical and mental working environment in a terminal-based data system. Research Report 35, Industrial Welfare Council, Stockholm.

Gunnarsson, E. and Soderberg, I. (1979) : Work with visual display terminals in newspaper offices. Report 21, National Board of Occupational Safety and Health.

Gunnarsson, E. and Soderberg, I. (1980) : Eyestrain resulting from VDT work at the Swedish Telecommunications Administration. Staff Conference Summary, Stockholm, Sweden.

Haider, M., Kundi, M. and Weissenbock, M. (1980) : Worker strain related to VDUs with differently colored characters. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : ibid, 53-64.

Hultgren, G. and Knave, B. (1973) : Contrast blinding and reflection disturbances in the office environment with display terminals. Arbete. Och. Halse.

Kelly, D. H. (1964) : Sine waves and flicker fusion. In : von Bahr, G. et al. (ed), Documenta Ophthalmologia, XVIII, 16-35, Dr. W. Junk, Publishers.

Krüger, H.(1980) : Ophthalmological aspects of work with display workstations. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : ibid, 31-40.

Läubli, Th., Hünting, W. and Grandjean, E. (1980) : Visual impairments in VDU operators related to environmental conditions. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : ibid, 86-94.

Läubli, Th., Hünting, W. and Grandjean, E. (1981) : Postural and visual loads at

VDT workplaces. II. lighting conditions and visual impairments, Ergonomics, 24, 933- 944.

Radl, G. W. (1980) : Experimental investigations for optimal presentation mode and colours of symbols on the CRT-screen. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : ibid, 127-135.

Rey, R. P. and Meyer, J. J. (1980) : Visual impairments and their objective correlates. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : ibid, 77-83.

Rycroft, R. J. G. and Calman, C. D. (1980) : Facial rashes among Visual Display Unit (VDU) operators, In : The HUSAT Research Group : Health Hazards of VDUs? 1, 15-17, Loughborough University of Technology.

Shipley, L. J., Gentry, J. and Clarke, J. W. (1980) : VDT vs. pencil : A comparison of speed and accuracy. University of Missouri Department of Journalism, Columbia.

Shurtleff, D. A. (1980) : How to make displays legible? Human Interface Design, U.S.A.

Smith, M. J., Cohen, B. G. F., Stammerjohn, L. W. and Happ, A. (1981) : An investigation of health complaints and job stress in video display operations. Human Factors, 23, 387-400.

Snyder, H. L. and Madox, M. E. (1978) : Information transfer from computer generated dot matrix displays. HFL-78-3, U.S. Army Research Office.

鈴村昭弘 (1969) : 眼精疲労, 大塚任, 鹿野信一 編集, 臨床眼科全書, 1、285-320.

高橋春蔵（1938）： 照明と作業能率－反射率を中心として、教育心理研究、13 培風館.

Tjønn, H. H. (1980) : Report of facial rashes among VDU operators in Norway. In : The HUSAT Research Group : Health Hazards of VDUs? 1,19-24, Loughborough University of Technology.

Zaret, M. M. (1981) : Cataracts and visual display units. In : The HUSAT Research Group : Health Hazards of VDUs? 2, 49-59, Loughborough University of Technology.

第五章
ビデオ表示端末の画像書き換え周波数と視機能・自覚症状

概要

本章では、ビデオ表示端末の画像書き換え周波数（フィールド周波数、リフレッシュ周波数、交照周波数などとも呼ぶ）と視機能、自覚症状の関係を明らかにし、望ましい画像書き換え周波数の下限を示した。

本研究の特徴の１つは、市販のビデオ表示端末では、画像書き換え周波数や蛍光体の減衰時間特性を容易に変更できないので、スライド・プロジェクターを改造したビデオ表示端末シミュレーターを開発して画像を表示する方法を用いたことである。第２の特徴は、前章で明らかにされたようにビデオ表示端末作業者の自覚症状の訴え率が高く、それらが、画像書き換え周波数などの画質と関係していることが示されているにもかかわらず、医師等による検査機器や視触診の検査では、明らかな異常が認められにくい点について、実験室内でのビデオ表示端末作業において視機能を測定することにより明らかにしたことである。

すなわち、本章の負荷実験はわずか 60 分にすぎず蛍光減衰（ピーク値の 10 % 迄の）時間は 4 msec の場合のみであるが、フリッカー値、眼位、近点視力については、30 Hz ないし 60 Hz で印刷文書や、点滅のない画面に比べて、有意な変化が認められ、とくにフリッカー値を文書作業なみの低下におさえるには、画像書き換え周波数は、90 Hz 以上を必要とすることが示された。

本研究では、ビデオ表示端末の画質についての人間工学的改善項目の中でもとくに従来の印刷文書と全く異なる点滅光による表示についての最低基準を、生理学的に明らかにしようとした点に大きな意義がある。

尚、本章は、人間工学に関する国際学術雑誌、Ergonomics に投稿中の原著論文

Nishiyama, K., Bräuninger, U., de Boer, H., Grandjean, E. and Gierer, R. :
Physiological effects of oscillating luminances in the reversed display

of VDTs.
に基づいて記されている。

第一節　ビデオ表示端末シミュレーター

1．ビデオ表示端末シミュレーターの試作の理由

画像書き換え周波数の視機能に及ぼす影響を明らかにするために、実際に使用されているビデオ表示端末の画面でちらつきを誰でもはっきりと認めることのできる周波数(30 Hz程度）から、ちらつきを感じることはまずないと考えられている周波数の倍程度（約 200 Hz）までの間の周波数域で画像書き換え周波数を任意に設定する方法が当初検討された。しかし、画面上の走査線数を一定に保ち、画面全体に文字を表すためには、水平周波数の非常に高いものを必要とし、時間的にも、価格的にもそのようなビデオ表示端末画面の開発の余裕がなかった。そこで、次善の策として、シミュレータを試作することにした。

2．シミュレーターの構成

被験者に周期的に変動する光を暴露するための装置を試作した。これは、陰画表示、陽画表示の両方が可能で、画像書き換え周波数は 0 Hz（定常光）から 180 数 Hz まで可変である。

装置の原理は、以下の通りである。直流電源で点灯されたハロゲン・ランプを光源にした。光源の輝度は電圧制御により 0～160 cd/m^2 の間で連続的に可変である。図５－１に示すような改造したスライド投影機により、光源の光束は、レンズ・システムにより集束されて、最終段の投影レンズの焦点位置にある図５－２に示されるようなチョッパーディスクに向かう。そして 170×210 mm^2 の大きさの画面に像が投影される。チョッパー・ディスクはサーボ・モーターで回転駆動される。

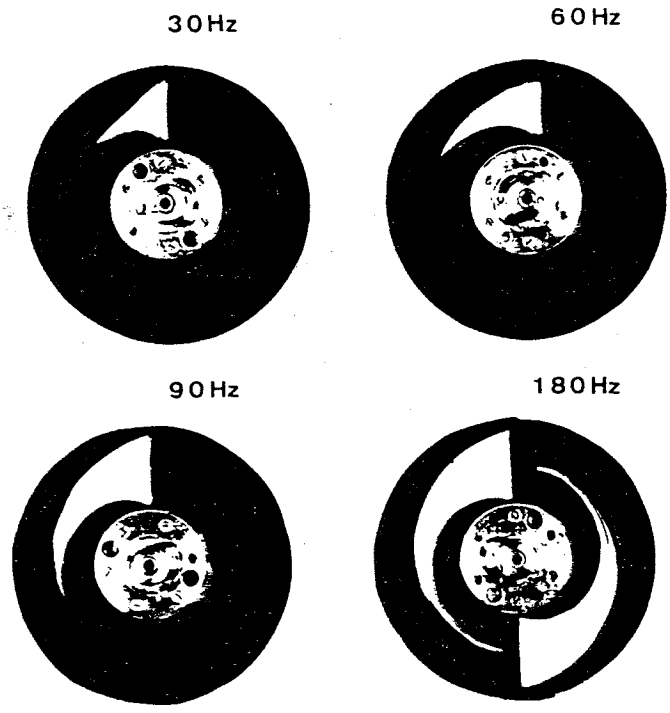


図５－２　輝度減衰時間特性が同じとなるように
切込みを入れたチョッパーディスク

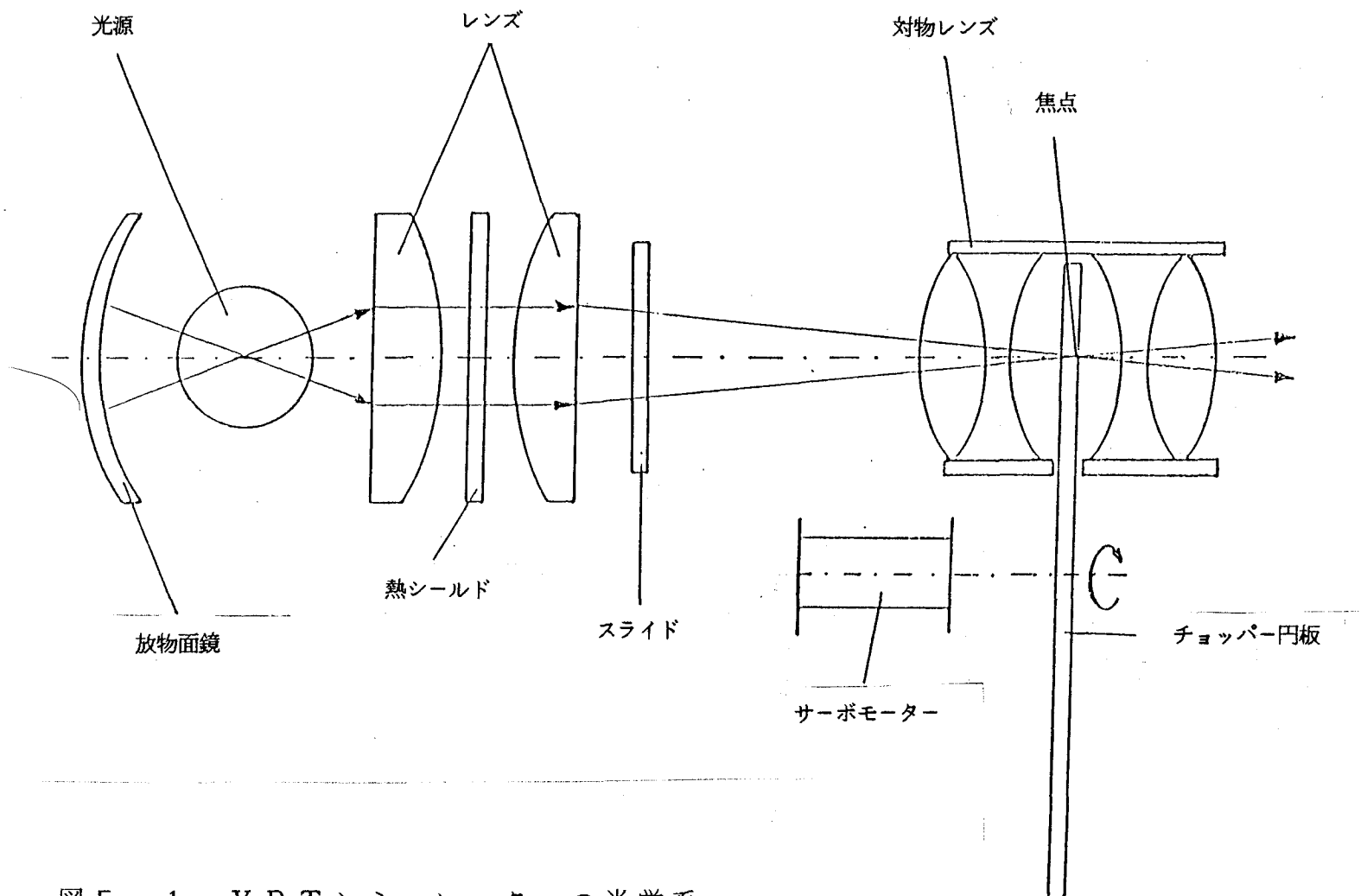


図５－１　ＶＤＴシミュレーターの光学系

3．シミュレーターの特性

本実験で使用されたチョッパー・ディスクは、図5－3に示す様にピーク値の 10 % レベルまでの輝度減衰時間が 4 msec の蛍光体に相当する。本シミュレーターは、回転するチョッパーディスクにより、画面全体が一定の周波数で点滅される。しかし、実際のビデオ表示端末スクリーンでは電子ビームの走査線の走査により、順次各点で蛍光体が点滅していく特性がある。この点で、本シミュレーターは実際と異なる特性を有しているが、これはやむをえないと考えた。さらに、光源から出る光が、チョッパーディスクを通過する際につくられる光束の焦点における断面は、有効径のため、投影光の輝度の立上がり時間は、ビデオ表示端末画面上の蛍光のそれより長くならざるをえない。従って、このシミュレーターで、蛍光体 P4 （ピーク輝度 10 % 迄の減衰時間が数 10 μs）のような場合の模擬はむつかしいと考えられるが、4 msec 程度の減衰時間では実際上問題がないと考えられた。

第二節　視機能への影響の実験的評価法

1．測定指標と測定法

各実験の前、途中、後に表5－1に示すような生理的機能が測定された。Läublіら（1981）等の現場調査により、ビデオ表示端末作業者には焦点調節や両眼視機能の低下・不調を訴える者が多いので、それらをより客観的に把握するために、近点距離、視力、眼位、立体視の検査が選ばれた。また、画面と原稿その他周辺物体との間の輝度対比が大きすぎることにより、コントラスト感度にも変調が生じるのではないかと考え、コントラスト感度の測定がなされることとなった。さらに、第二章で述べたように視機能にとどまらず、大脳皮質の活動水準に依存して変化するといわれているフリッカー値を測定すること

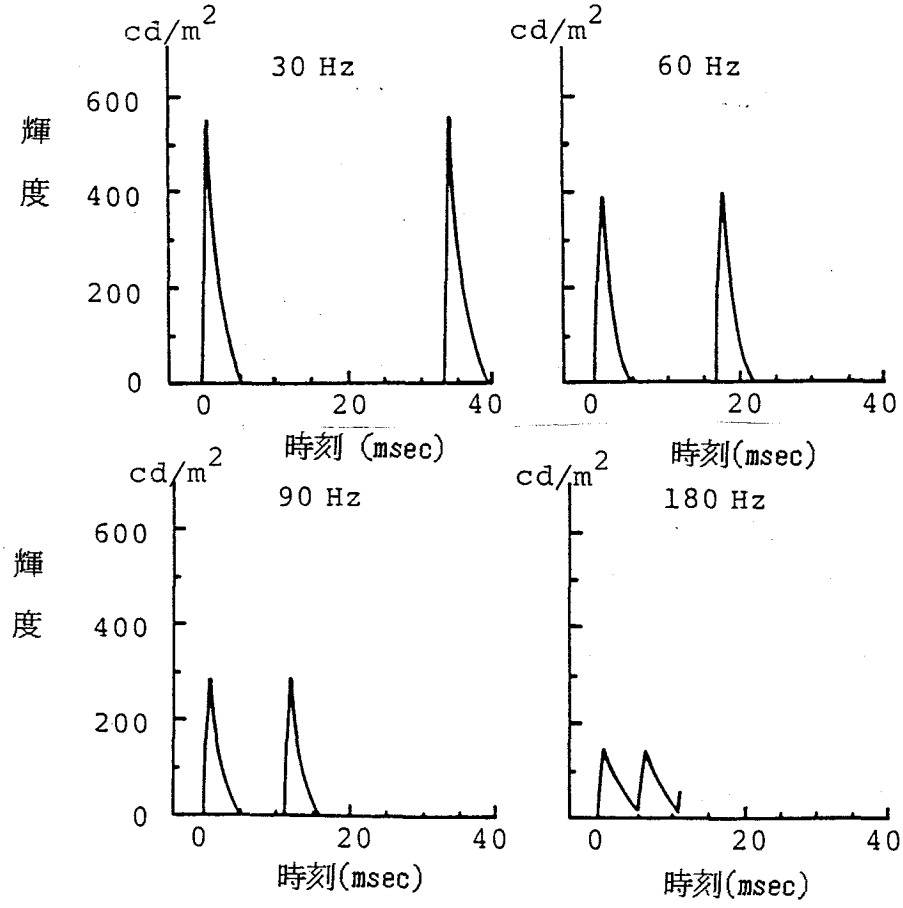


図5－3　シミュレーターにおける種々の画像書き換え周波数のもとでの輝度の瞬時値の変化特性。平均輝度　75 cd/ m²

表５－１　生理機能検査項目と測定機器

１）　簡易形の近点距離計（Clement Clarke 社製）による両眼視の近点距離

２）　Giererら(1981）により開発された装置によるフリッカー値（ちらつき融合閾周波数、ＣＦＦともよばれる）

３）　遠点・近点の両眼視力

４）　遠点の立体視

５）　遠点・近点の横方向の斜視

　上記（３）、（５）については、ツァイス社（アメリカ）製の Titmus Vision Tester が用いられた。遠点は 6.1 m、近点は 35.6 cm であった。

６）　ローデンシュトック社製の Nyktometer で 4 m の遠点のコントラスト感度

７）　瞬目（まばたき）数、験者が計数器で観測する。

にした。瞬目（まばたき）数も、覚醒水準、注意集中の程度に変化がないかどうかをみるための指標として用いられた。

また、実験の前後に、７段階の順序尺度であらわした 10 項目の自覚症状の質問紙に回答させた。自覚症状の項目は、現場での訴えとの対応をとりやすくするために Läubliら（1981）が現場調査で用いたものと同じ（参、表５－２）にした。

２．被験者

被験者は全て視機能に関する予備テストをパスしたものであった。すなわち、表５－１に示した遠点・近点の視力、遠点の立体視、遠点色覚、遠点・近点の斜視の検査で、Titmus Vision Tester における事務作業用の基準を満たし、かつ、遠点コントラスト感度検査で、背景輝度／標的輝度が 2.0 以下で、Gierer(1981) により開発されたフリッカー値測定器によるフリッカー値（CFFともいう）が 38～53 Hz のものであった。被験者は、28 人の学生と 2 人の一般事務作業者で、その年齢は 17 才から 40 才、25 才以下が 80 % を占めており、半数が女性であった。

＊） Gierer(1981) のフリッカー値測定器は、プリセット方式で、予想されるフリッカー値の上方と下方から、ランダムな順序で、整数周波数をプリセットした後その周波数での点滅光を呈示し、ちらつきの有無を答えさせてはさみうち式にフリッカー値を求める方法で測定される。

３．実験条件

画像は、両質の印刷文書と同程度の文字の明瞭さを有したドイツ語の文章が投影できるスライドを多数作成して、試作したビデオ表示端末シミュレーターにより画面に表示された。本実験では陽画表示条件（明るい地に暗い文字）のみが用いられた。陽画条件が用いられたのは、人のフリッカー値に近い周波数の画像点滅の影響は、点滅面積の広い程大きいという仮設に基づいている。したがって、もし陽画条件で有意な影響が認められないなら、陰画条件の実験は必要がないことになると考えた。

表５－２　自覚症状についての質問項目

（１）目が疲れる、
（２）目があつく感じる、
（３）目がちくちくする、
（４）物がぼけてみえる、
（５）物が二重にみえる、
（６）物がゆれ動いてみえる、
（７）頭痛、
（８）目がいたい、
（９）物がちらついてみえる、
（１０）遠くのものから近くのものに視線をかえるとすぐにはっきり見えない、

画像書き換え周波数については、30、60、90、180 Hz が用いられ、比較対象となる対照条件として定常輝度の 0 Hz の他に、普通の印刷文書が用いられた。。

画面の文字背景の平均輝度は 75 cd／m^2 ないし 150 cd／m^2 に設定された。実験室の照明は、直流電源の白色光源で、画面中央にて垂直方向が 200 lx、水平方向が 300 lx の照度となるように設定された。画面の 50×70 mm^2 の部分の輝度の瞬時特性は図５－３に示されている。

最初の実験シリーズは、10 人の被験者について輝度 75 cd／m^2 と 150 cd／m^2 の影響の差を検討するために行なわれた。

次の実験シリーズは、さらに 20 人の被験者を追加して 75 cd／m^2 の輝度下で、画像書き換え周波数の影響をより詳細にみるために行なわれた。すなわち、75 cd／m^2 については 30 人の被験者となる。

上述の６実験条件の暴露順序はランダムにし、各実験は、異なる日に行なわれ、読み取り時間の総計は 60 分とした。実験中、被験者は画面に表示された文章を視距離約 60 cm で、声をあげて読む作業を行なった。

各被験者について、特に健康に異常のない限り、表５－３の手順で各実験は行なわれた。瞬目数（まばたき）は読み取り作業時間中の 2 分目、28 分目、32 分目、58 分目に 2 分間計数された。

４．データの統計学的処理

実験データの統計学的処理は、社会科学統計用パッケージ SPSS Version-VIII (Norman, 1979) により行なわれた。

尚、自覚症状の回答は全て、順序尺度なのでノンパラメトリック統計分析のみが用いられた。

表５－３　実験手順

実験室入室	
入室後１０分目迄	：実験室内照明条件への順応
１０分－　２５分	：生理機能テスト全てと質問紙への回答
２５分－　５５分	：最初の３０分間の読み取作業
５５分－　６０分	：近点距離、フリッカー値、視力のテスト
６０分－　９０分	：２回目の３０分間の読み取作業
９０分－１０５分	：全生理機能テストと質問紙への回答
実験終了	

第三節　視機能を低下させる画像書き換え周波数

1．画面の輝度差の影響についての予備実験

画質の良いビデオ表示端末使用の場合、陽画の画面の文字背景地輝度は 75 cd／m^2 前後に調節して用いられている。又、150 cd／m^2 程度に輝度をあげられるビデオ表示端末もある。そこで、文字背景輝度が、75 cd／m^2 と 150 cd／m^2 の実験条件に差が認められるかどうかについて 10 名の被験者を対象に予備実験を行なった。その結果、視機能、自覚症状ともに両条件間に有意な差が認められなかった。この結果にもとずいて、本実験の文字背景の輝度としては 75 cd／m^2 が用いられることになった。有効な統計学的解析を行なうためにさらに 20 人の被験者を追加することにし、被験者は合計 30 人とした。

2．画像書き換え周波数と視機能テスト

読み取り作業により、作業前後の間に視機能の有意な差が認められたのは、表５－４に示すように、30 Hz と 60 Hz の条件下であった。尚、遠点斜視、遠点立体視については、有意な差は認められなかった。

有意な影響の認められた視機能について、周波数要因の関与について統計学的に検討した。その結果、フリッカー値(CFF)、 近点斜視、近点視力については画像書き換え周波数条件による影響の有意差が認められた($p < 0.001 \sim 0.05$)。そこでこれらの視機能について 0 Hz の表示ないし印刷文書の条件と各書き換え周波数条件の全ての組合せについての読み取り作業前からの機能の低下量の差などの統計的比較を行なった。その結果は以下のとおりであった。

CFF については、読み取り作業時間を共変数にした多要因分散分析(ANOVA) を行なった。その結果、図５－４に示すように、30 Hz は全条件の中で最大のフリッカー値の低下を引き起していた($p < 0.001$)。60 Hz は、印刷文書、0 Hz、60 Hz に比べて大きい低下であった($p < 0.001 \sim 0.005$)。 その他には、条件間に有意差は認められなかった。図５－４は、

表５－４　読取作業による視機能の変動量

＊：Ｐ＜０．０５、＊＊：Ｐ＜０．０１、＊＊＊：Ｐ＜０．００１

読取作業前と作業後の視機能の有意差を示す

正規分布型変数については、対応のある平均値の差の検定、

非正規分布型変数については対応のあるＷｉｌｃｏｘｏｎの検定によった。

視機能	印刷文書	点滅画像 画像書き換え周波数 ３０Ｈｚ	６０Ｈｚ
フリッカー値の減少（Ｈｚ）	２．５＊＊＊	８．８＊＊＊	４．１＊＊＊
近点距離の延長（ｃｍ）	０．１	０．４	０．３
遠点視力の低下	０．０５	０．０６＊	０．０５
近点視力の低下	０．０	０．０５＊＊＊	０．０４＊＊＊
近点斜視	－０．３	＋０．４＊	－０．３
コントラスト感度の低下	－０．０２７	－０．０３９＊	－０．０５４＊＊
瞬目間隔	－０．０４６	－０．１０２＊	０．０１９

注１）視力：スネルレン氏の単位を使用

注２）斜視：＋は外斜位傾向、－は内斜位傾向の変化を示す

注３）コントラスト感度：指標輝度／外の輝度

注４）ｌｏｇ（120 /2分間の瞬目数）

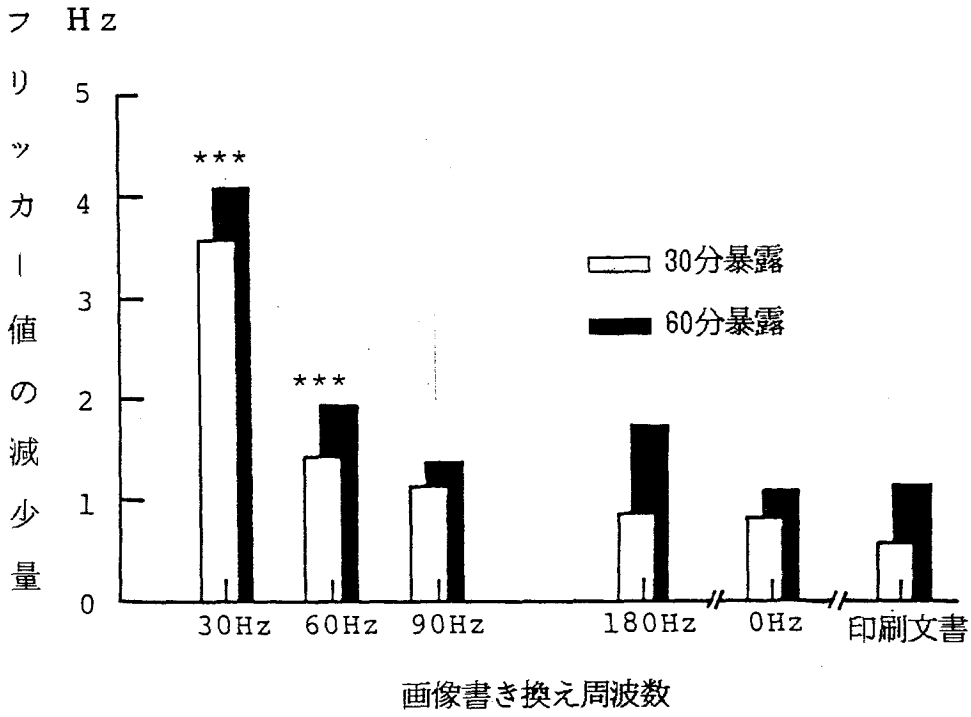


図５－４　種々の画像書き換え周波数によるフリッカー値の減少量

＊＊＊：Ｐ＜０．００１、画像書き換え表示と対照条件間の多元配置分散分析、但し対照条件は印刷文と画像書き換えのない画面表示条件

画像書き換え周波数が大きくなるにつれて、フリッカー値(CFF) の低下量が単調に小さくなることを示している。そこでフリッカー値の低下量 ΔCFF を画像書き換え周波数で近似できる回帰式モデルを以下の様に作成した。

$$\Delta CFF = A + B/F \quad (1)$$

$$\Delta CFF = A + B/F^2 \quad (2)$$

$$\Delta CFF/CFFb = A + B/F \quad (3)$$

$$\Delta CFF/CFFb = A + B/F^2 \quad (4)$$

但し、　F　：画像書き換え周波数

A、B：定数係数

CFFb：読取作業前のフリッカー値

以上４つの式について、読取作業 30 分後、60 分後の各々について回帰分析を行なったところ、（4）式が最も高い重相関係数を示す回帰式であることが判明した。すなわち 30 分後については

$$\Delta CFF = -(5412/F^2) - 1.67 \quad (5)$$

重相関係数 $R=0.65$ ($P<0.001$)

60 分後については

$$\Delta CFF = -(5382/F^2) - 2.80 \quad (6)$$

重相関係数 $R=0.57$ ($P<0.001$)

であった。（5）（6）式から得られる回帰曲線を図５－５に示した。印刷文書ないし 0 Hz 条件でのフリッカー値の 95 % 信頼限界の相対低下量の上限を求めて同じく図５－５に示した。これらの相対低下量の上限と回帰曲線の交点の周波数をみると、 30 分後も 60 分後も 90 Hz 付近となる。

近点斜視については、図５－６に示すように、読み取り作業 60 分後に、30 Hz と 90 Hzで外斜位方向に、その他の条件では内斜位方向に変化しているように見えるが、各条件相互の比較では、30 Hz のみが、90 Hz 以外の条件との間で有意差を示しているだけである（$P < 0.01 \sim 0.05$)。

近点視力は、図５－７に示すように、読み取り作業 60 分後に 30 Hz と60 Hz は暴露前の視力と比べると有意な低下が見られるが、低下量で比較するならば他の条件との間に有意な差は認められない。

他の視機能、すなわち、近点距離、遠点の視力・斜視・コントラスト感度、瞬目数につ

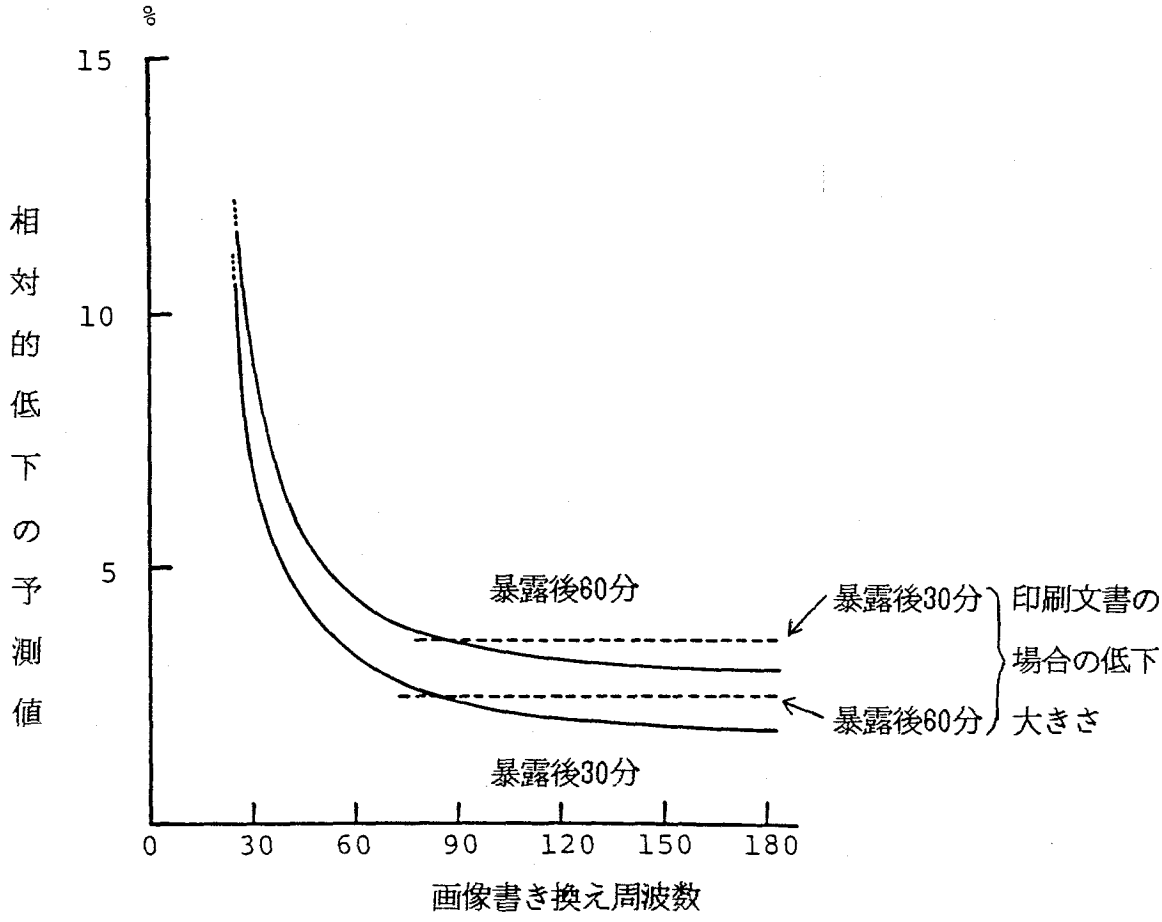


図５－５　多重回帰分析によるフリッカー値の作業前値に対する相対的低下の予測値

Ｙ：フリッカー値の相対的低下の予測値

Ｘ：画像書き換え周波数

30分暴露後　$Y = -(5412/X^2) - 1.67$

重相関係数Ｒ＝０．６５（Ｐ＜０．００１）

60分暴露後　$Y = -(5382/X^2) - 2.80$

重相関係数Ｒ＝０．５７（Ｐ＜０．００１）

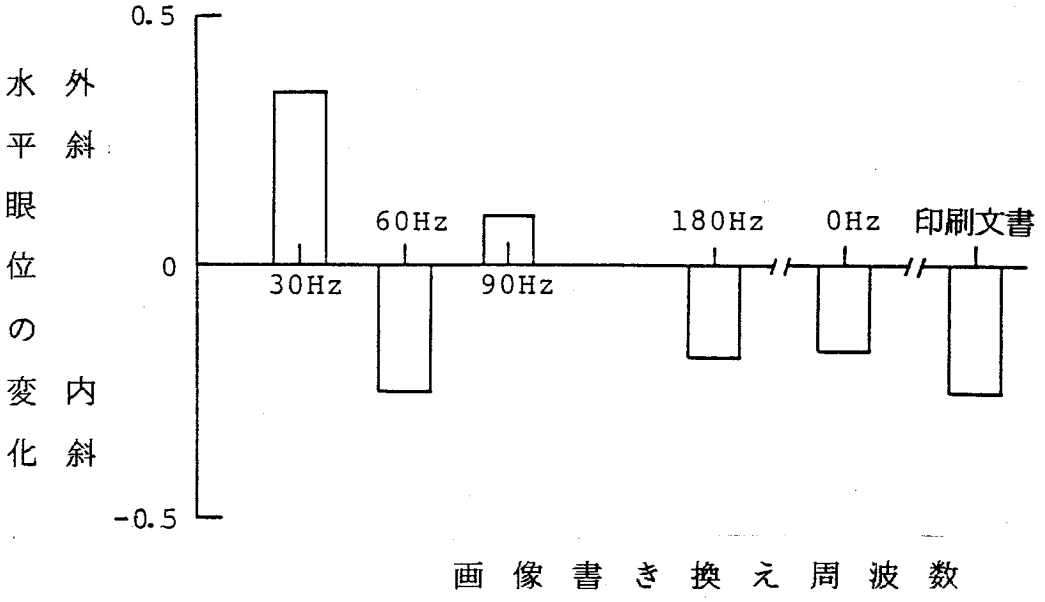


図５－６　近点水平眼位を指標にした両眼視機能への画像書き換え周波数の影響、暴露時間は６０分，３０Ｈｚは６０、１８０、０Ｈｚ、印刷文書に比べて有意に外斜変化を示した（Ｐ＜０．０１、分散分析）

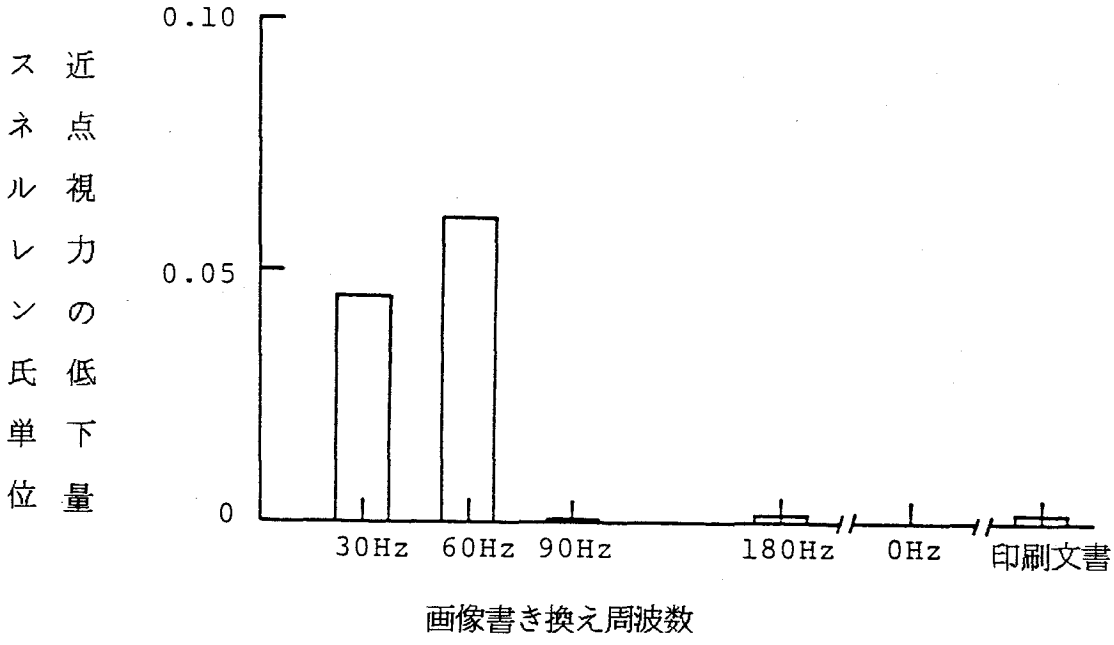


図５－７　近点視力（スネルレン氏単位を指標とする）への画像書き換え周波数の影響、暴露時間は 60 分、実験条件による有意差は P<0.05（Ｋｒｕｓｋａｌ－Ｗａｌｌｉｓ　のテスト）

いては、印刷文書ないし 0 Hz との間に有意な差を示す周波数条件はなかった。

3. 自覚症状

読み取り作業前の自覚症状については、実験条件間の有意差は認められなかった。

読取作業により、全ての自覚症状について、若干の実験条件において、作業前の訴えの程度に比べて訴えが強くなっていた($P < 0.001 \sim 0.05$)。そこで作業の訴えについて、実験条件間に差が認められるかどうか分析したところ、図５－８、５－９に示すように「目の疲れ」「目のいたみ」については有意差のあることが判明した。さらにこれら２症状について、種々の実験条件間の１対比較を行なったところ、 30 Hz のみが他の条件よりも訴えの程度が高いことが明らかになった($P < 0.001 \sim 0.05$)。その他の条件間には有意差は認められなかった。

さらに、 10 項目の自覚症状中何項目が読み取り作業により訴えが強くなったかを各被験者、実験条件別に計算した。実験条件別の平均の訴え増加項目数率は図５－１０に示す通りである。この指標についても「目の疲れ」「目のいたみ」の症状と同じく、30 Hz のみが他のどの条件よりも大きい値を示した($P < 0.001 \sim 0.05$)。

なお、自覚症状と前述の視機能との間には有意な相関は認められなかった。

第四節　画像書き換え周波数の向上

60 分の読み取り作業において、陽画表示のもとでは、10 % レベルまでの残光時間が 4 msec の場合、30 Hz の画像書き換え周波数により、フリッカー値の低下、眼位のシフト、近点視力の低下と目のつかれ、いたみの症状の増悪が起ることが明らかにされた。しかし、 60 Hzでは近点視力、フリッカー値以外の変化は小さく、有意でなかった。 90 Hz では、視機能の低下、自覚症状の増悪ともみられず、フリッカー値に関する回帰分析結果とも一致した。したがって１時間程度のビデオ表示端末作業なら、この種の蛍光体利用の

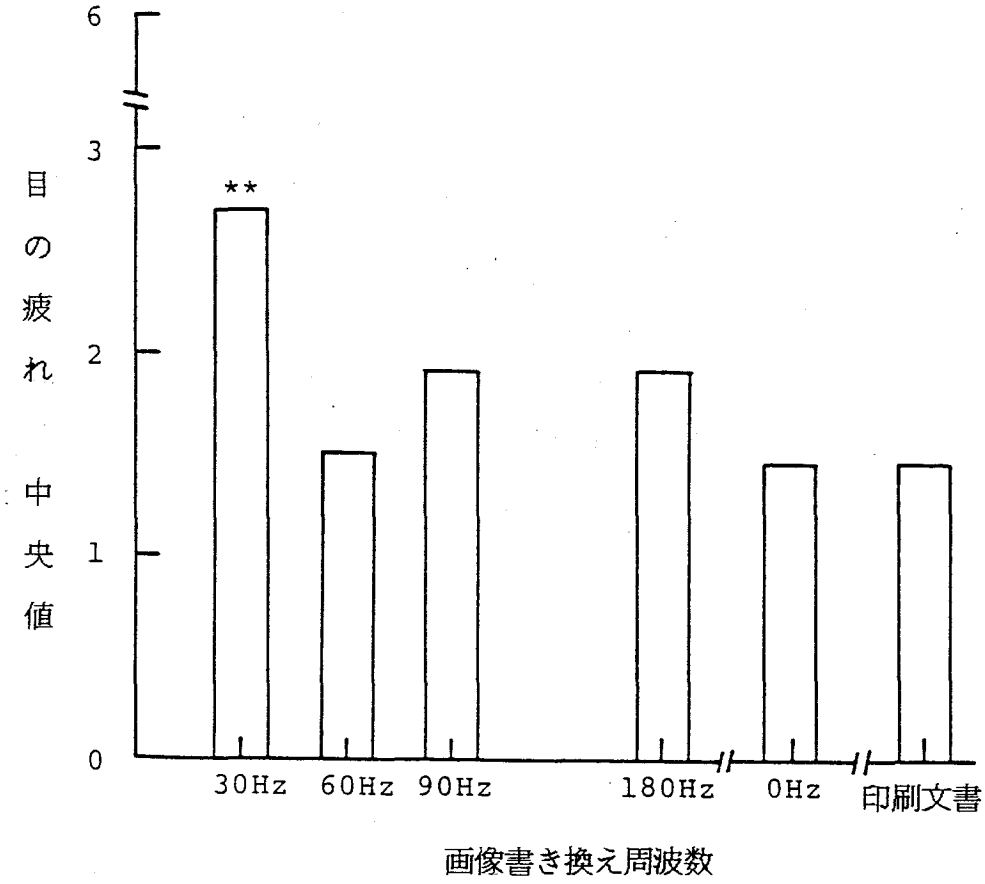


図５－８　自覚症状「目の疲れ」に対する画像書き換え周波数の影響

＊＊：Ｐ＜０．０１、Ｍａｎｎ－ＷｈｉｔｎｅｙのＵ－ｔｅｓｔ、

30Ｈｚの暴露後の訴えは、全条件の中で有意に最大であった。

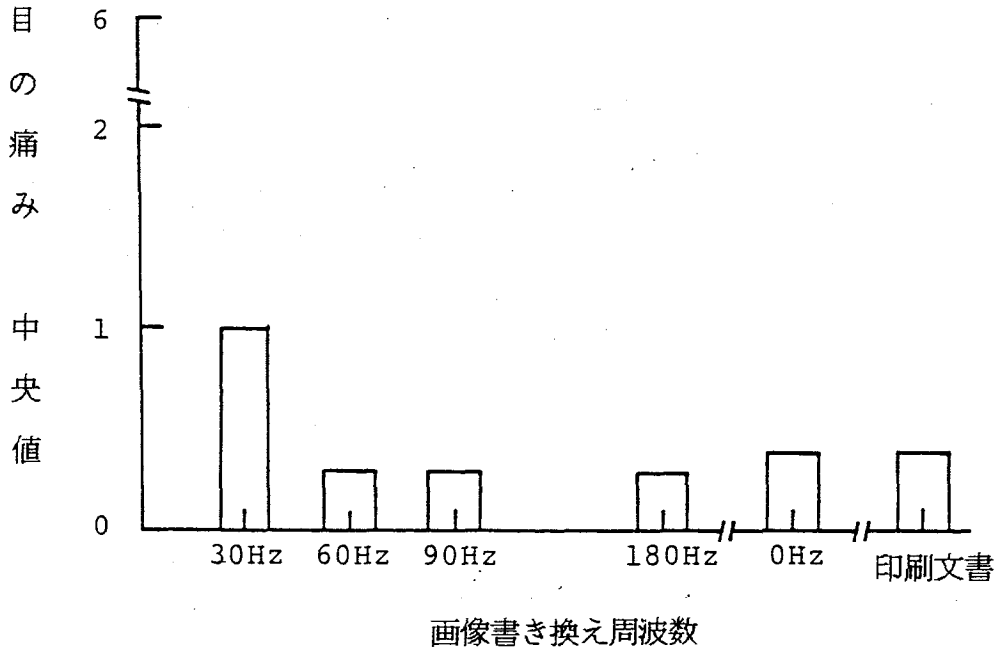


図５－９　自覚症状「目の痛み」に対する画像書き換え周波数の影響

＊＊：Ｐ＜０．０１、Ｍａｎｎ－Ｗｈｉｔｎｅｙのテスト、30Ｈｚの暴露の訴えは、全条件の中で有意に最高であった

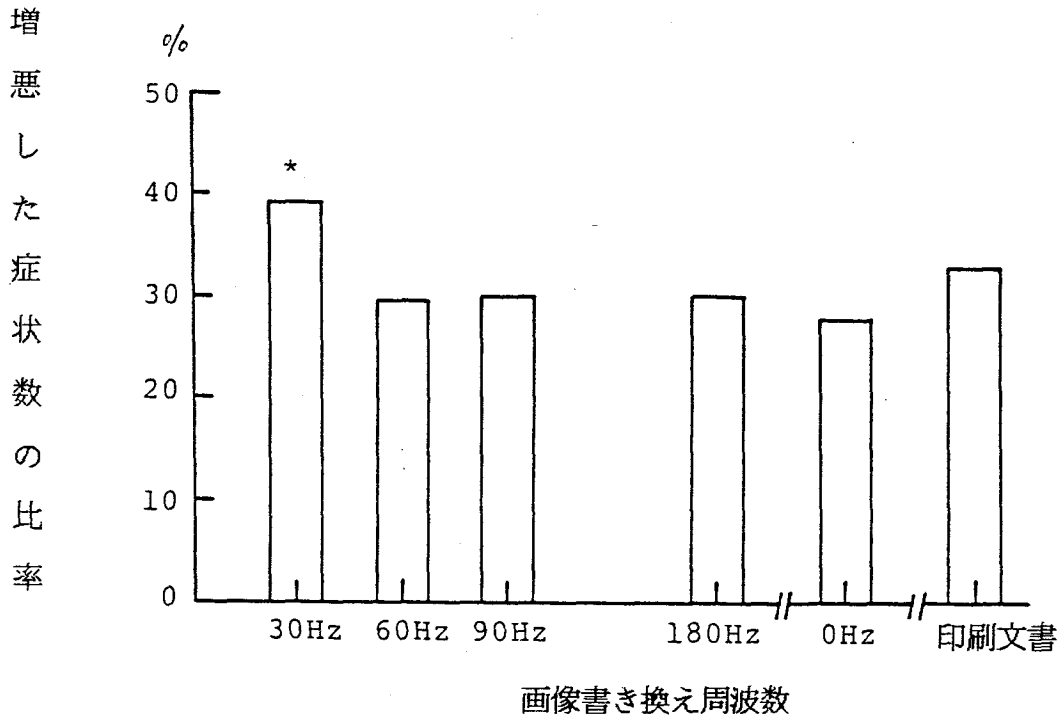


図５－１０　自覚症状10項目中増悪した症状数の比率と画像周波数の関係、30Ｈｚの暴露後の訴え増は全条件の中で有意に最大であった（＊：Ｐ＜０．０５，Ｗｉｌｃｏｘｏｎの対応ある対のテストによる）

場合、 90 Hz で問題ないように思われる。

しかし、もっと長時間の場合にはどうか、視機能に障害があるとか高齢の場合にはどうかという問題は未解決である。

さらに、本研究で使用されたチョッパー・ディスクでは、残光時間が 4 msec であり、P4 の 25-60 μs のようにもっと短時間の場合どうかという問題がある。また、本研究のシミュレーターの場合、画面全体が同時に点滅を繰り返す点で実際のビデオ表示端末と異なっているが、視機能、自覚症状への影響は同じだろうかという疑問点が残る。これらの条件については、スライド・プロジェクターを改造したシミュレーターでは設定できず、実際のビデオ表示端末を用いた研究が今後必要だろう。

文　　献

Gierer, R., Martin, E., Baschera, P. and Grandjean E. (1981) : Ein Gerat zur Bestimmung der Flimmerverschmelzungsfrequenz des Auges. Z. Arb. Wiss., 35, 45-47.

Laubli, Th., Hünting, W. and Grandjean, E. (1981): Postural and visual loads at VDT workplaces. II. lighting conditions and visual impairments. Ergonomics, 24, 933-944.

Nishiyama, K., Bräuninger, V., de Boer, H., Grandjean, E. and Gierer, R. : Physiological effects of oscillating luminances in the reversed display of VDTs. Ergonomics(recieved).

Norman, H. N., Hadlai, H. C., Jenkins, J. G., Steinbrenner, K. and Bent, D. H. (1979) : SPSS, Statistical package for the social science. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

第六章
ビデオ表示端末ワークステーションの調節と拘束姿勢負担

概要

本章では、ビデオ表示端末作業者の状態に合せた、ワークステーションの諸元の調節が、作業者の拘束姿勢負担を軽減することを示した。

本研究は、Hüntingら(1980) により、行なわれた現場調査が出発点となっている。すなわち、この調査によりビデオ表示端末作業者が他の事務作業者に比べて、頸・肩・腕や腰などの運動器系の症状の訴え率が高いのは、ビデオ表示端末作業者の姿勢の拘束性が強いことに大きな原因があると推定された。

この調査に基づき、本研究では、

1） キーボードの高さ、位置、手・腕の支持台の使用

2） 画面の高さ、視距離、傾斜

3） 座面の高さ、位置

4） 文書台の傾斜、位置

についてそれぞれ調節可能なビデオ表示端末ワークステーションを試作し、これを用いて、実験室内研究と現場内使用研究を行なった。

実験室内研究では、いくつかの所定の拘束条件と作業者の調節条件のもとでビデオ表示端末作業を行なわせた。その結果調節条件下で最も愁訴が少なくなることが判明した。

また、現場内使用研究では、従前の机・椅子使用条件下と試作ワークステーション条件下の間の比較を行ない、やはり、調節条件下で愁訴の少ないことが示された。

さらに、ワークステーションの各諸元について作業者が耐容しうる範囲を測定したところ、一定の条件に固定された、あるいは、調節範囲の狭いワークステーションでは、かなりの作業者がビデオ表示端末作業を耐容できないことも示された。

本研究の特徴は、人間工学的な調節性の少ない事務機器が一般化している中で、かなり調節範囲の大きいビデオ表示端末ワークステーションを試作し、ビデオ表示端末作業者の運動器系の症状が拘束姿勢の改善により、軽減されることを示したことである。その際、

自覚症状と身体計測値を指標として用いるという簡便な方法で明瞭な結果を示したこともあげられる。

本研究は、従来人間工学で望ましいと勧められていた脊柱の直立した椅座姿勢が、ビデオ表示端末作業の場合不適切であることを明らかにした点で、大きな意義がある。又、本研究は、スイスで行なわれたものであり、得られた推奨調節域は、日本人に合致しないのは当然であろうが、日本人に合ったビデオ表示端末ワークステーションの調節性を明らかにする上でも有効な方法であると考える。

尚、本章は、国際学術雑誌、Behavior and Information Technology (1982) に掲載された原著論文、

Grandjean, E., Nishiyama, K., Hünting, W. and Piderman, M. : A laboratory study on preferred and imposed settings of a VDT workstation. Behavior and Information Technology, 1(3), 289-304.

及び、人類働態学会誌、 Journal of Human Ergology (1982) に掲載された原著論文

Grandjean, E., Hünting, W. and Nishiyama, K. : Preffered VDT workstation settings, body posture and physical impairments. J. of Human Ergology, 11, 45-53.

に基づいて記されている。

第一節　拘束姿勢等による運動器系の障害

ビデオ表示端末作業者の頸肩腕・背腰部の愁訴率について諸家の研究結果をまとめて表６－１に示した。

西ドイツでは Çakirら(1978、1979) が、データ検索作業と新聞校閲作業について腰痛治療経験を比較すると前者の方が率が高いこと、ビデオ表示端末作業歴５年以上群の方が作業歴 1～2 年群に比べて治療経験率の高いことを示している。また、高速反復入力を要

するビデオ表示端末作業の方が、事務やプログラム、編集でのビデオ表示端末作業に比べて肩腕の腱鞘炎、腱炎の多いことを示している。

フランスでは Eliasら(1980) が、単純反復操作の多いデータ検索の方が会話型に比べ、頚・肩・腕・腰の痛みの訴え率の高いことを示している。

アメリカでは Smithら(1980) が、目の症状と同じく頚・肩・腕・手の症状についても、管理の厳しい職場で、対照群との間に、訴え率の有意差がみられることを示している。

スイスの Hüntingら(1982) は、Läubliら(1982) の目の症状の調査対象と同じ集団について、検討した結果、データ入力型のビデオ表示端末作業で、頚・肩・腕の訴え率が最も高いことを示している。さらにこれらの症状の訴え率が、キーボードの高さや、打鍵時の手の尺側偏位の大きさ、頭の俯角（うつむき）の大きさと関連していることを示している。また、取りはずしが自由にできる手・腕の支持台を利用可能にした場合、これを好んで利用する者がかなり認められている。

このようにビデオ表示端末作業者の頚・肩・腕や腰背部の疲労症状の訴えが多い主な要因として拘束姿勢が指摘されてきた。そこで諸元の調節可能なワークステーションでビデオ表示端末取り扱い者が作業をするならば、姿勢維持のための静的筋緊張や不快な姿勢のリスクは減じられるという仮説に基づいて、調節可能なワークステーションを試作して、実験室と現場における作業にて作業者に使用させその効果を検討することが課題となった。

第二節　調節姿勢と拘束姿勢の作業負担差

1．方法

1－1　被験者

被験者は 30 人のタイプ作業に熟練しているスイス婦人であった。彼らの年齢、身長の分布は表６－２に示す通りで、西ヨーロッパの婦人の平均身長より約 5 cm 高かった。30 人中 13 人が眼鏡をかけ、そのうち６人は矯正視力でも、0.7～0.5 と低い視力であった。被験者は２人を除いて、実験前 2～3 週間、頚・肩・腕・手の部分に異常は認められなか

表6－1　ビデオ表示端末作業者の頸肩腕障害、腰背部障害

国名	報告年	症状	愁訴率		備考	報告者
			VDT作業	対照		
西ドイツ	1978	腰痛治療、経験	47%:17%	－	250人のVDT作業者 データ検索：編集	
			27.5:51	－	経験1~2年：5年以上	Çakir ら
	1979	肩腕の腱鞘炎	20:10:0	－	高密度反復VDT作業： 事務:プログラム／編集	Çakir ら
フランス	1980	痛み				
		頸	52:36	－	データ検索：会話	
		右肩	32:17	－		
		背	41:17	－		
		腰	56:36	－		Elias ら
アメリカ	1980	頸の痛み	90	60	作業管理のきびしい職場	
		肩の痛み	74	49	VDT作業者72人： 対照42人	
			49	31	※※	
		腕、下肢の痛み	73	46		
		頸こり	67	39		
		頸から肩への痛み	63	30		
		筋の腫張	57	32		
		手首の痛み	57	19		
		手の痙れん	57	36		
		しびれ	54	25		
		腕の脱力	42	18		Smith

※※自主管理の多い職場　VDT作業者142人：対照93人

かった。

1－2　ワークステーション

試作したワークステーションは以下の諸元について調節可能である。

（1）　キーボードの床上高さ

（2）　画面の床上高さ

（3）　画面の机上手前端からの距離

（4）　画面の傾斜

（5）　原稿台の場所と傾斜

図6－1はワークステーションの調節範囲を示している。木製の手首、前腕支持台が用いられた。その諸元は、幅 46 cm 、奥行 13 cm 、後部の高さ 6 cm 、傾斜 18° である。キーボードは標準型のもので、中段のキートップの机面上高さは 8 cm である。椅子の座面の高さは自由に設定できる。椅子の背もたれの高さは両肩甲骨まであり、傾斜も調節可能である。

画面の大きさは高さ 16 cm 、幅 20 cm である。表示文字は緑色で、良好な輪廓と安定性を有し、高さ 3.4 mm、幅 3.1 mm の大きさで、可読性は良好である。

キーボードと画面は計算機に接続され、画面の反射グレアが生じないようにワークステーションは配置され、原稿台はキーボードの左側に置かれた。

1－3　実験手順

各実験で被験者は最初、原稿台の文章を画面上に5行入力し、その後 10 分間は画面上で同じ文章を転写入力し続ける。入力作業中に、図6－2に示される部位の身体計測が行なわれる。そして被験者は作業直後に所定の質問紙に回答する。

最初の実験は、前述した全諸元について被験者の調節値に合わせて設定したワークステーションでの転写作業を課すものである。

調節値は

1）　座面高

2）　キーボード高

3）　画面高

4）　画面視距離

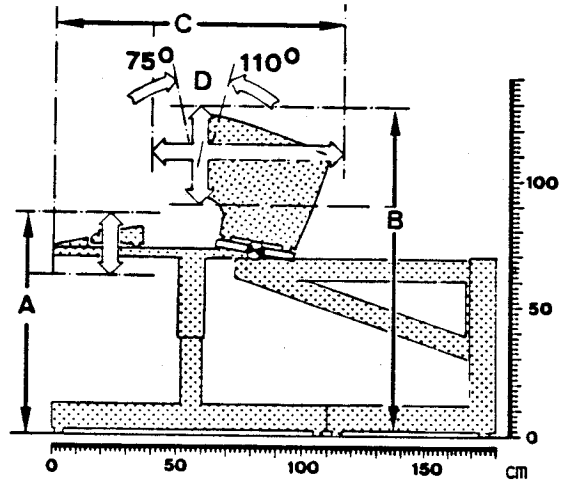


図６－１　試作ＶＤＴワークステーション
とその可調節域

	可調節域
Ａ＝床上鍵盤面高	６２～８８ｃｍ
Ｂ＝床上画面高	９０～１２８ｃｍ
Ｃ＝机手前端よりの画面距離	４０～１１５ｃｍ
Ｄ＝画面の傾斜角	７５～１１０°
原稿台の傾斜角	０～９０°

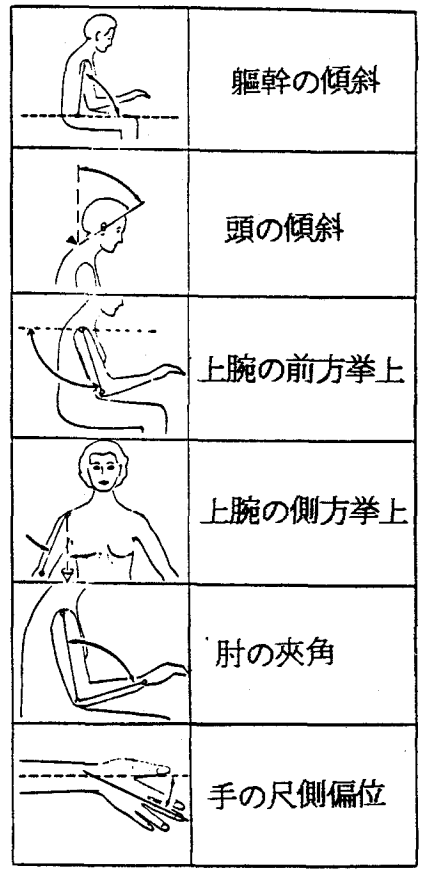


図６－２　測定姿勢

5）　画面傾斜

6）　原稿台の位置と傾斜

という順序で、それぞれについて、調節域の下限からと上限から被験者が満足する位置まで、延 7～8 回調節して求められた。座面高の調節値が一番最初に求められたのは、下肢が、床や座面に安定した状態で保持されないと、軀幹の姿勢保持が十分できないという原理に基づいている。

被験者には、作業中にもワークステーションの調節が許された。この調節条件については、以下の３条件で実験がなされた。

（1）　手の支持台、原稿台が共にある

（2）　手の支持台はなく原稿台のみある

（3）　手の支持台はあるが原稿台はない

すなわち、キーボードの調節高さについては延 90 回の実験により評価がなされた。

次いで、被験者は、以下に示す諸元の一つが拘束され、その他の条件については自由に調節が許される状態で同じ転写作業をした。但し、諸元の拘束値は以下の順で変えられた。

（1）	キーボード（ホームキー位置）の床上高(cm)	74，82，　90
（2）	画面の中央机上高(cm)	20，32，　44
（3）	机手前端からの画面中央までの水平距離(cm)	38，53，　68
（4）	画面の傾斜(°)	78，90，102

上述の拘束姿勢の設定は、 Hüntingら(1981) や Brownら(1980) の現場調査結果に基づいている。これらの拘束条件については、実験は一回ずつ行なった。キーボードの机上高が 90 cm の場合、9 人の被験者が実験課題を遂行できなかった。したがって若干の分析については被験者数は 21 人としてなされた。

1－4　質問紙

運動器系の慢性的症状の発現経過を実験室的研究の枠内では把握しえないが、以前タイピストに対して行なわれた調査では、姿勢の拘束された被験者は、短時間の作業でも静的筋緊張が不快な負担になっていた。この経験や日本の頚肩腕障害の研究結果に基づき質問紙が作成された。

質問紙の構成は、第１部が、個人属性、職歴、第２部が各実験のたびに回答する身体各部位の状態とワークステーションの各諸元についての評価、第３部は、種々の実験の比較と調節可能なワークステーションに対する評価から成っている。

第２部の身体部位については、頸、肩、上腕、手、背、腰を左右別々に、緊張なし(entspannt)、緊張気味(angespannt)、つらい(beschwerlich) の３段階の順序尺度にて評価された。

１－５　負担の指標

各身体部位を個々に比較するのみならず、ガットマンの尺度分析を行ない、頸と肩、背と腰、手と上腕をまとめた合成尺度による評価の可能性を検討する。その際、緊張なし＝０、緊張気味＝１、つらい＝２として、各部位の訴え点を加算した。

１－６　耐容範囲の測定

諸元の１つを変化させ、各被験者に作業しうる範囲の下限値と上限値を求め、これらの２つの値にはさまれる範囲を耐容範囲とした。この場合、残りの諸元は、自由調節が許された。

２．結果

２－１　調節値と耐容範囲

キーボードの高さは、手の支持台、原稿台の有無にかかわらず、殆ど差が認められなっかたので、条件を無視して一括して、統計量を求めることにした。諸寸法の平均値、標準偏差、95 % 範囲を表６－３に示した。 95 % 範囲は、キーボード高で 12 cm、 画面高で 25 cm 、画面距離　42 cm とかなり広いが、座面高は 4 cm と狭い。

２－１－１　キーボードの高さ

キーボードの調節高の頻度分布が図６－３に示されている。範囲は 71～84 cm で、大多数(68 %) が 74 cm から 80 cm の間にある。 Çakirら(1979)、Verwaltungs-Berufs-genossenschaft(1980)、DIN(1981) などの従来の人間工学の推奨値からすれば、本側定値

表６－３　ＶＤＴワークステーションの調節値（被験者30人）

計測項目	標本数	平均値	標準偏差	95%域
鍵盤面高（床から）	90	77cm	2.7cm	70-82cm
画面高(床から)	30	109	6.3	97-122
画面高(机上面から)	30	32	5.7	21-43
画面の机手前端からの距離	30	65	10.6	46-88
画面の視距離	27	66	7.9	54-78
画面の傾斜	30	90°	5.1°	87-105°
原稿台の傾斜	30	49°	7.6°	32-62°
座面高	30	47cm	0.2cm	45-49cm

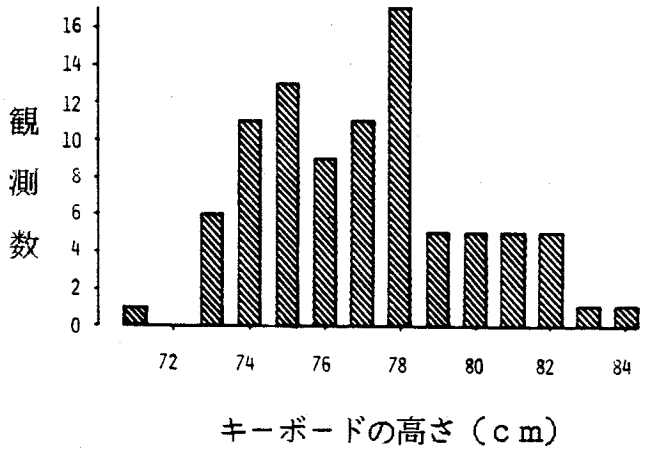


図６－３　キーボードの床上高調節値の分布
キーボードーの厚さは８ｃｍ、被験者数３０人、
延観測数９０、平均値：７７ｃｍ、標準偏差：
２．７ｃｍ，中央値：７７．２ｃｍ

は余りにも高すぎるが、この点については後に検討する。

一般に、身長等の人体計測値が、キーボード高さを求める因子と考えられるので、身長とキーボードの調節高の関係をみると、図６－４のような相関図を示した。相関係数ｒは 0.53(P<0.01) であり、相関の強さでは中等度であった。この結果から、身体形状の関与は中程度で、個々人の姿勢上の習慣などの要因が、調節姿勢にかなり大きい影響を与えていると考えられる。

最後の実験で、被験者はキーボードの調節高さと耐容下限、耐容上限の高さの評価を繰り返した。耐容高さの範囲の測定結果を図６－５に示した。調節高さについては、最初の実験結果すなわち、表６－３と図６－３と同じであった。図６－５に示されるように、耐容高さの範囲の幅は 1 cm から 10 cm と個人差がかなり大きい。さらに重要なことは、全ての被験者が耐容しうる１個の特定のキーボード高さがないことである。調節高さの平均は 77 cm であったが、これにキーボード高さが固定されると７人は耐容できず、６人は限界状態になってしまう。すなわち、唯一つの固定されたキーボード高さでは全ての人々に適合させられないことが判明した。

２－１－２　画面の高さ

30 人の画面中央の調節高さの頻度分布を図６－６に示した。分布範囲は、キーボード台表面からの高さでは 18～42 cm であり、床上からでは 94～118 cm であった。画面中央の高さの耐容範囲については図６－７に示した。やはり、全ての被験者が耐容できる特定の画面高さはないといえる。

２－１－３　机の手前からの画面の距離

30 人の画面中央の調節距離の頻度分布を図６－８に示した。その分布範囲は 47～94 cm とかなり大きい。画面距離を被験者が調節している時の画面中央までの視距離については表６－４に示した。各被験者の調節した状態での視距離と机手前端から画面中央までの距離は図６－９に示されるようにほぼ同じ大きさであった。

画面中央の机手前端からの距離の耐容範囲を、矯正視力とともに図６－１０に示した。大多数は、10 ないし 20 cm の範囲を示している。視力と視距離の相関係数は －0.3 (P<0.01) と小さく、視距離に視力はほとんど関連していないといえる。一般に推奨されている視距離は 50 cm 前後であるが、ほとんどの被験者がこれを越えており、 60 cm 以

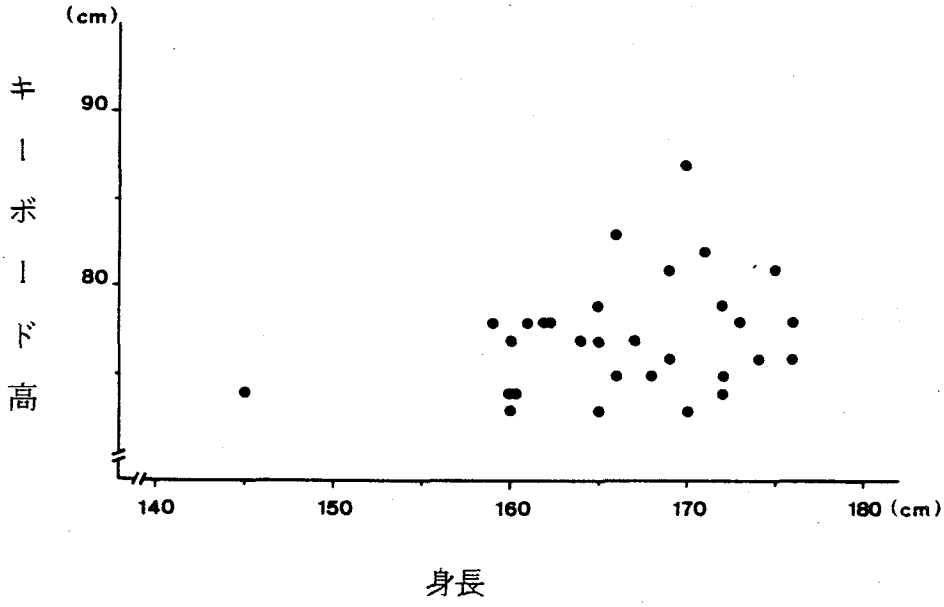


図６－４　身長とキーボードの床上高の調節値の関係

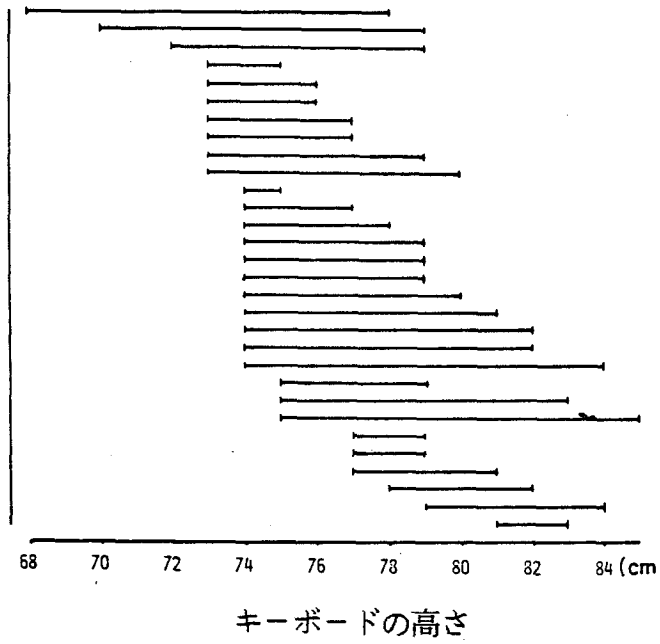


図６－５　キーボードの床上高の耐容範囲

被験者数３０人、各人３回の試行による（下限高さ順に配列されている）

キーボードを設置した机上よりの高さ

中央値：32.5cm

キーボードの床からの高さ

中央値:110.8cm

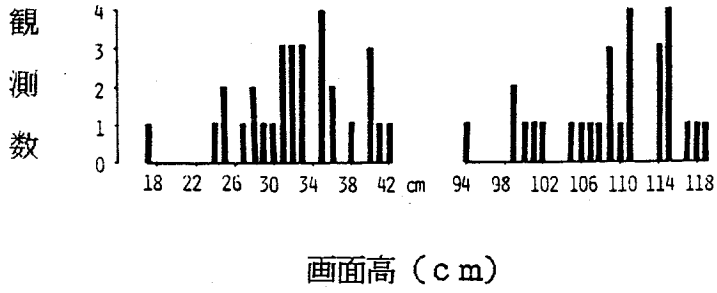


図６－６　画面中点の調節高の分布

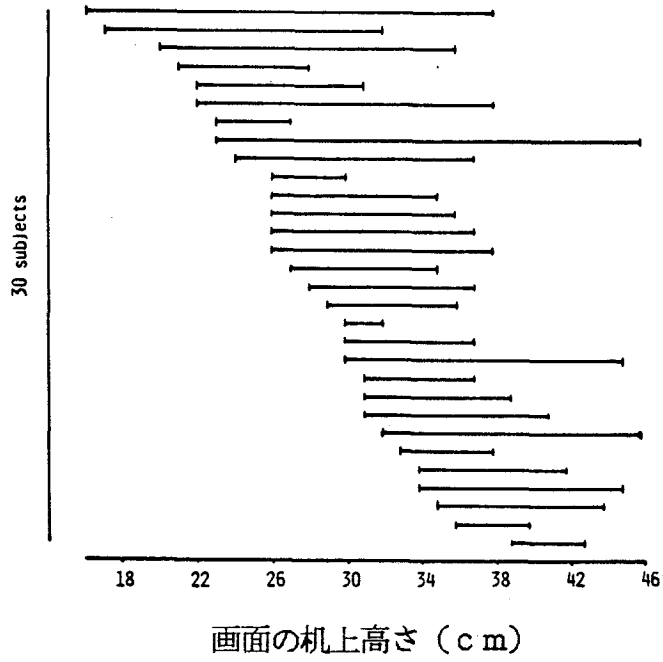


図６－７　キーボードの設置された机上面からの画面中央の高さの耐容範囲、被験者３０人

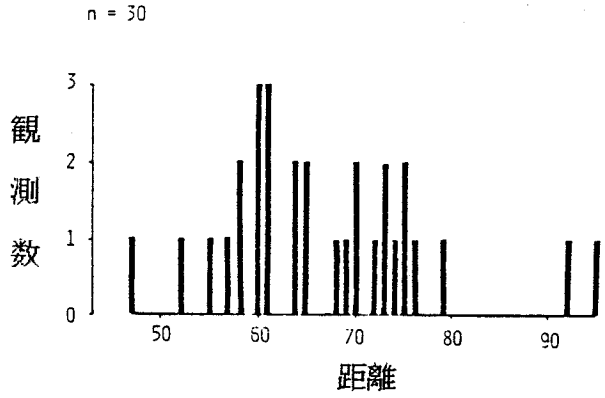


図６－８　画面中央の机手前端からの調節距離の分布。平均値６５ｃｍ、標準偏差１０．６ｃｍ中央値６１ｃｍ

表６－４　視距離の分布

視距離	標本数	相対頻度
５０－５５cm	２人	７％
５６－６０	６	２２
６１－６５	５	１８
６６－７０	４	１５
７１－７５	７	２６
７６－８０	３	１１

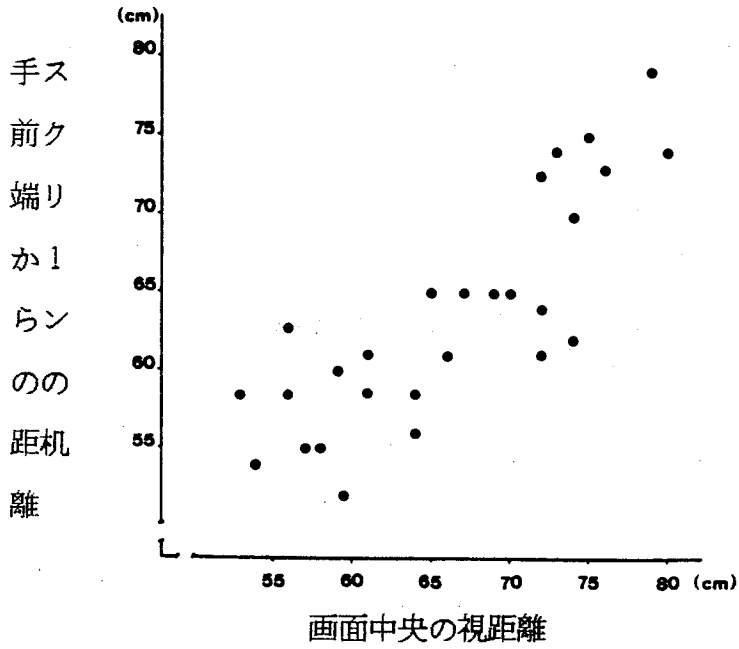


図６－９　画面中央の視距離とスクリーン中央の机手前端からの距離の関係

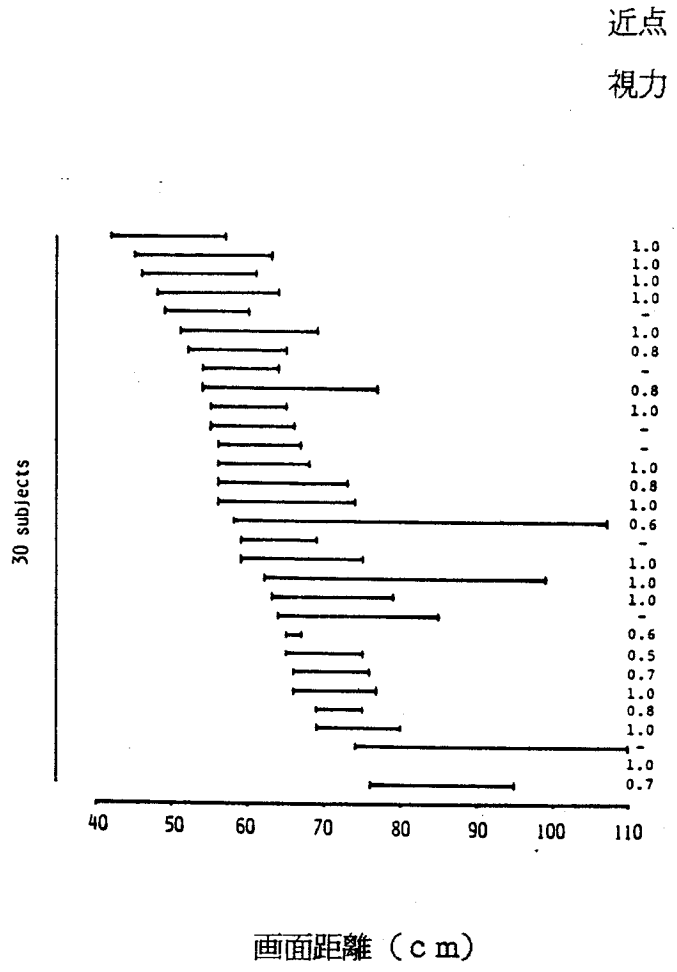


図６－１０　画面中心と机手前との距離の耐容範囲と視力。被験者数３０人、視力は１．０～０．８が適性である、－は欠損値

上の者が 70 % を占めている。また、ある特定の視距離で全ての被験者を耐容させられないことが示された。

2－1－4　画面の傾斜

画面の調節傾斜の頻度分布を図6－11に示した。他の全ての寸法も調節されていると、50 % の被験者が、画面を鉛直方向に調節する。分布範囲は 90～106° である。実際には、画面の調節傾斜は反射グレアにかなり依存している。本研究の画面傾斜値は、反射グレアのない条件で得られたものであるから、この結果から可調節範囲を論じることには難点がある。

2－1－5　原稿台の傾斜

原稿台の調節傾斜の分布範囲は 30～70° 、±σ の範囲で 40～55° 、±2σ で 32～62° 、中央値は 50° であった。しかし、原稿も実際には非常に色々のものがあるから、この結果から一概に、一般的な結論を出せないだろう。

2－2　ワークステーションの寸法と症状の関連

被験者は、主に調節姿勢時にリラックスしており、拘束姿勢時には、頚・肩・腕・手の部位に「緊張気味」ないし「つらい」という症状を訴えた。

特徴的な例として、図6－12に、自覚症状の指標とキーボード高さの関係を示した。キーボードの高さを被験者が調節できるときに訴えは最小となっている。この調節高さの平均は 77 cm であるが、分布範囲が 71～84 cm であり、平均高に近い 74 cm の高さに拘束すると訴えは増大するのである。訴えは手、腕に特に強くあらわれている。

これらの結果をまとめると、

1）　画面高さを拘束すると、統計的に有意ではないが、頚、肩の訴えの増加傾向がみられた。

2）　画面距離を拘束すると、頚と肩の訴えが有意に強くなる。

3）　画面傾斜を 78° に拘束すると、頚と肩の訴えが有意に強くなる。

4）　手、腕の支持台の有無により訴えに有意差はなかった。しかし被験者の 1/3 が支持台を選択した。

5）　差尺（机表面の床高と座面高の差）が 24～27 cm の間にある場合に、頚、肩の

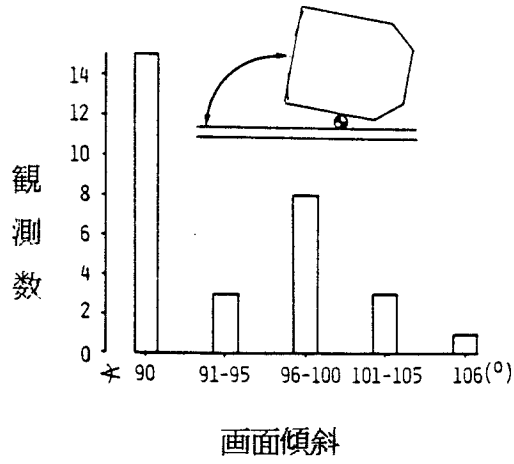
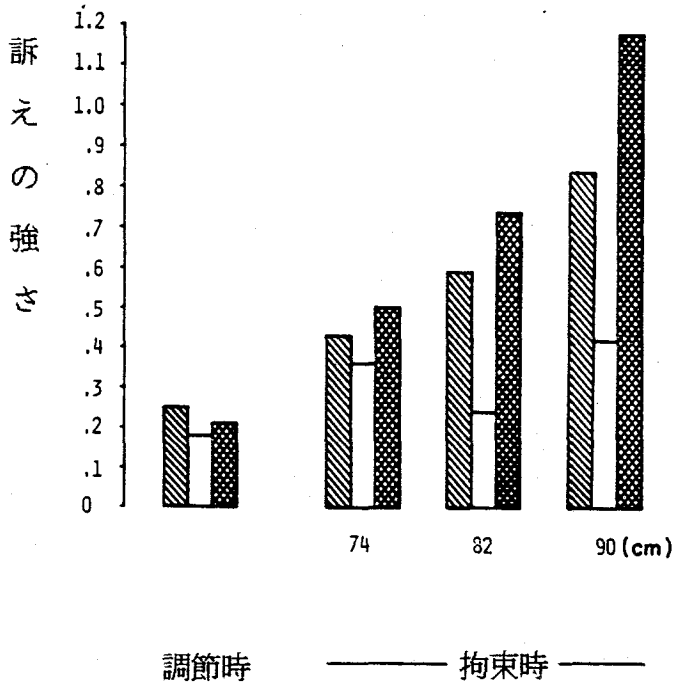


図６－１１　画面傾斜の調節値の分布。被験者数30人、中央値90.4°



３拘束条件の訴えの有意差（χ^2 検定による）

頸・背・腰…有意差なし

肩・右腕……Ｐ＜０．０５

左腕・手……Ｐ＜０．０１

図６－１２　ホームキーの床上高を調節した場合と拘束した場合の訴えの比較。手・腕の保持台の使用時と無使用時の両方の訴えを含む

被験者数＝２１人

訴えは最小となった。

2－3　ワークステーションの寸法と姿勢

各実験条件下での姿勢計測値を検討したが、表6－5に示すように、キーボード高さと姿勢の関連について興味ある結果を得た。すなわち、キーボードを高く拘束するにつれて、上腕の前方と側方への挙上が強まっている。このような上肢保持のために図6－12に示されるようにキーボードが高くなるにつれて、頚、肩、腕、手の訴えが増強したといえる。キーボードの調節高さの場合、肘の角度はほぼ直角であるが、上腕が前方と側方へわずかに挙上されている。側方挙上は、手首の内転をさけるためであり、前方挙上は、キーボードの調節高さ 70～82 cm に手を届かせるために起っていると考えられる。

2－4　姿勢と症状の関連

愁訴と画面の拘束時の頭の傾きの関係を図6－13に示した。頚、肩の愁訴が最低となるのは、頭の傾きが約　30°で背、腰については、30°であり、明らかに角度の増大とともに訴えは増強している。

他の姿勢計測値と症状との関連をまとめると、

軀幹の傾斜については　90～99°で頚・肩の症状

肩峰とホームキーの距離については 45cm で手・腕の症状

上腕の前方挙上角については 95～109°で頚・肩・腰・背の症状

上腕の側方挙上角については　34°以下で頚・肩・腰・背の症状

がそれぞれ最低の訴え率を示した。

3　考察

3－1　ワークステーションの諸元の調節値

Millerら(1981) や Brownら(1980) が行なった実験結果と本研究の結果を表6－6にまとめて示した。彼らの実験では、ワークステーションの可調節範囲が本研究に比べて狭いとか、手、腕の支持台がないとか、標本集団の身長分布が著者の場合と異なるなどのため、その結果において若干の相違が認められる。これら3研究の結果をまとめると、調節範囲

表６－５　ホームキーの机上高の拘束時と調節時の身体計測値

手・腕の支持台使用の場合

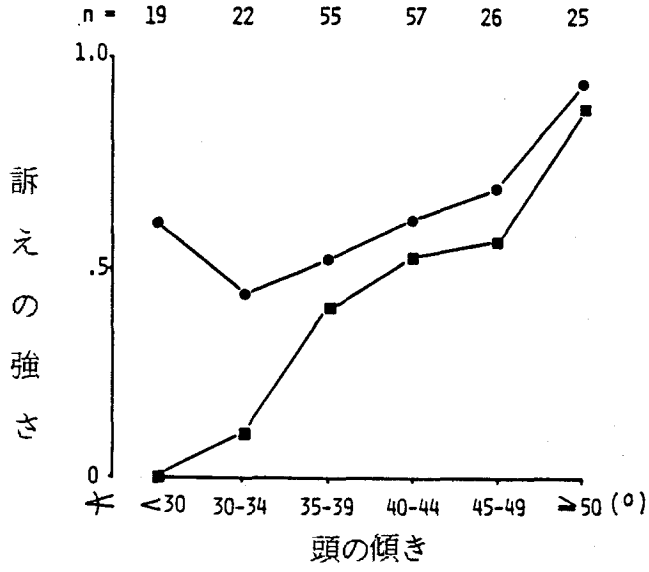
身体計測値	拘束高 (n=21)				調節時
（参、図６－２）	74cm	82cm	90cm	P	(n=30)
軀幹傾斜（°）	92	94	94	n.s	91
上腕前方挙上（°）	98	105	116	***	101
上腕側方挙上（°）	14	25	38	***	18
肘の夾角（°）	92	86	85	**	86
手の尺側偏位（°）	7	10	10	*	8
肩峰とホームキーの距離（cm）	49	46	46	**	48

Ｐ：拘束条件間の身体計測値の有意差（分散分析による）

*** ： Ｐ＜０．００１

** ： Ｐ＜０．０１

* ： Ｐ＜０．０５



●：頸と肩　P＜０．０１

■：背と腰　P＜０．００１

図６－１３　頭の傾きと訴えの強さとの関係。被験者数30人、画面の視距離、高さ、傾斜を拘束した場合の延データ数 234について、頭の傾き（参図６－２）別に訴えの強さを求めた。有意差検定は、中央値テスト、Ｋｕｒｓｋａｌ－Ｗａｌｌｉｓ の一要因分析による

表６－６　ビデオ表示端末ワークステーションの調節値の比較

調節項目	Miller and Suther(1981)		Brown and Schaum(1980)		本研究	
	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値	範囲
ホームキーの床上高(cm)	71	64-80	74	72-84	77	71-84
画面中央の床上高(cm)	92	78-106	100	88-108	109	94-118
画面傾斜（°）	3	0-7	10	3-17 *	0	0-16
画面の机手前端からの距離(cm)	固定		52	44-64	65	47-94
座面高(cm)	41	32-49	50	44-52	47	45-49 *

*：95% 範囲

は、

キーボード高さが	64～ 84 cm
画面高さが	78～118 cm
画面傾斜が	0～ 18°
画面距離が	44～ 94 cm

となる。

人間工学的見地からすれば、印刷文の快適視距離は、文字の高さの約 200 倍といわれている。本研究の画面上文字の高さは、 3.4 mm だから視距離は 68cm前後が適切ということになる。本研究の視距離は、分布範囲が 47～94 cm の範囲、中央値が 65 cm で、約半分が快適視距離より長い。しかし、本研究の被験者はそのために可読性や快適性が損なわれたとは思っていない。

３－２　調節可能なワークステーションの妥当性

本研究は、短時間作業であるが、ワークステーションの諸元を調節状態に設定した場合では、頚、肩、腕、手の部分に緊張感を生じない一方、拘束姿勢では、たとえ諸元が調節姿勢時の平均値にほぼ等しくても各身体部位の緊張感が増強することを明らかにした。このことから、被験者がワークステーションを調節する際にリラックスした姿勢という感情が被験者の訴えを左右することも考えられる。他方、長時間の姿勢拘束は頚、肩、腕、手の部分に一層強い症状を起すだろう。

諸元の調節値の範囲がかなり大きく身長との関連が少ないことは、個々人の姿勢評価が、身体計測的要因だけでなく、個人特有の要因にかなり依存していると考えられる。したがって、本研究の結果が、主に身体計測値に基づいている普通の人間工学的推奨値と全く一致しないのは当然であろう。

また、全ての人々に適切なあるいは耐容できる唯一つの推奨値というものはなくその意味でも調節可能なワークステーションは妥当なことを示した。

第三節　現場における調節姿勢の効果

1．方法

前節の研究で用いた調節可能なワークステーションの実際上の効果を明らかにするために、同じワークステーションを4ヵ所の事務所で 68 人 のビデオ表示端末取り扱い者に使用させた。 68 人はいずれもスイス人で、うち 45 人は某航空会社の切符予約、座席配置のための会話型作業、うち 17 人 は、銀行の取引先のためのデータ入力を主に行なう作業、うち、 6 人は商社の文書作成業務に従事していた。

調節可能なワークステーション使用前に、通常作業時の諸元の値、姿勢、身体症状が調べられた。

調節可能なワークステーションが導入され、従来から使用されているビデオ表示端末がその上に置かれた。椅子も、背もたれが座面から 50 cm の高さを有し、取り扱い者が軀幹全体を容易にもたれさせることのできるものが使用された。実験は5日間行なわれた。1日目、2日目は、手、腕の支持台を使用させ、3日目、4日目は、支持台なしで、5日目は、支持台の使用を自由とした。

作業開始前に、座面高の調節値を求め、前節と同様の順序で他の諸元の調節値が決められた。ビデオ表示端末取り扱い者は従来通りの作業を1日6時間行なう。その間に再調節は許された。作業中に、前節と同じ諸元、姿勢について計測がなされ、作業後に取り扱い者は、身体症状について前節と同じ内容の質問紙に回答した。5日目には、さらに、各諸元の耐容範囲の測定を行ない、取り扱い者に調節可能なワークステーションの総合評価を行なわせた。

2．結果

2－1　ワークステーションの調節域

調節の際の諸元の平均値は5日間を通じてほぼ同じであった。表6－7に被験者 59 人の延 236 回の測定について平均値と範囲を示した。

1）座面高は、大多数の被験者（63 %)が 46～48 cm を示し、 30 % がより高い値を示

表６－７　試作ワークステーションの現場での調節値

被験者数：５９人　延観測数：２３６人、（参、図６－２）

調節項目	平均値	範囲
ホームキーの机上高(cm)	７９	７１－８７
画面中央の床上高(cm)	１０３	９２－１１６
画面中央の机手前端からの距離(cm)	６４	５０－７９
画面中央の視距離(cm)	７６	６１－９３
画面の傾斜(°)	９４	８８－１０３
座面高(cm)	４８	４３－５７
ホームキーの机手前端からの距離(cm)	２０	９－４３

した。これは、前節の結果とほぼ同じである。

２）前節でも身体症状にかなりの影響がみられたキーボード面の高さについては図６－１４に頻度分布を示した。キーボード面の高さの範囲は 71～87 cm であり、市販のキーボードの厚さは 3～8 cm であるから、机上面の床からの高さの調節域は少なくとも 63～84 cm は必要といえる。

３）キーボード面の調節高と座面の垂直距離は、平均 32 cm、分布範囲が 24～38 cm であった。

４）画面中央の高さで頻度の多かったのは、床からの場合で 101～105 cm、机上面からの場合で 26～40 cmであった。

５）視距離は机の手前端と画面の距離と比較すると、前節の結果とちがって、視距離の方が平均値で 12 cm も長い。これは、後述するように、現場ではビデオ表示端末作業者が背もたれに背をもたれさせ、軀幹傾斜が大きくなっているためである。

文字の高さは 3.4 mm であるから、前節で述べたように、快適距離は 68 cm であるが、現場では、75 % の者が 71～93 cm の視距離をとっている。この結果は、推奨値等をかなり越えている。

６）画面中央を見おろす　角の頻度分布を図６－１５に示した。95 % の信頼区間は −4° ～−14° であった。

７）画面の傾斜は、大多数が 91～100° であった。画面の傾斜と画面の高さの相関をみると、相関係数は、机上面ないし床面からの高さについていずれも −0.6($P < 0.001$) となり、画面が低くなると画面の後方への傾斜が大きくなることが示された。

２－２　ワークステーションの調節値と身体症状

身体症状の程度を表す方法として前節と同じ指標を用い、従来の机・椅子と調節可能なワークステーションで、手、腕の支持台が有る場合とない場合についての身体症状の関連を図６－１６に示した。

調節可能なワークステーションの場合の訴えが、従来に比べて全体として有意に低下している。

画面からの不快な反射光の訴えについてもやはり、調節可能なワークステーションにより画面の傾斜を調節できる場合の方が、有意に少ない訴えであった。

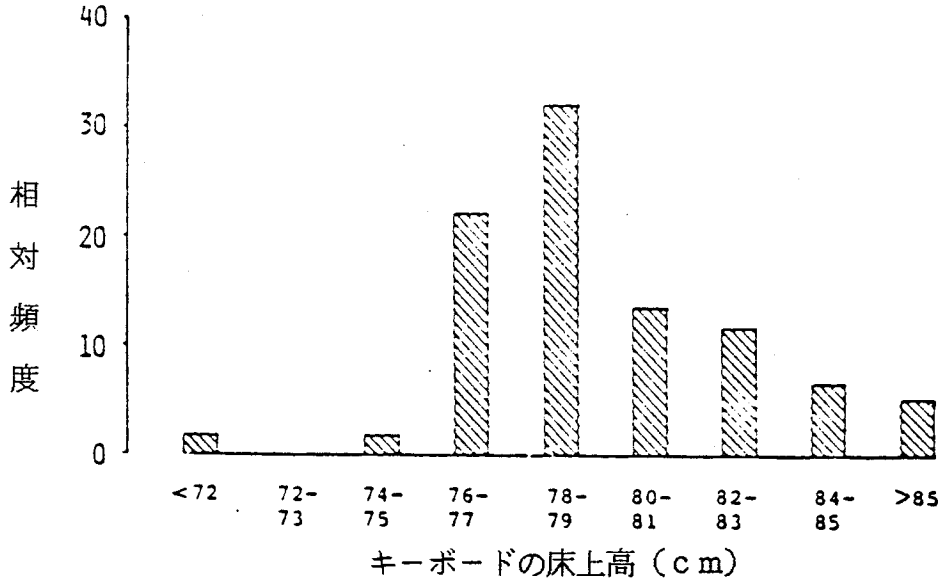
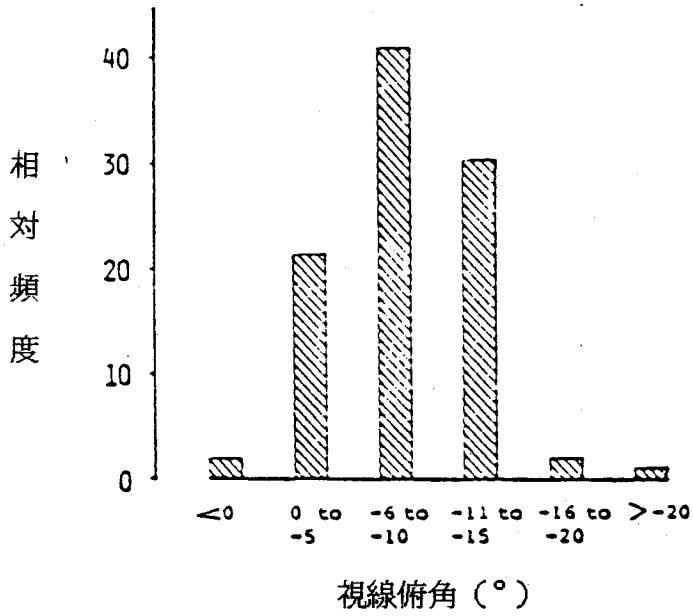


図６－１４　現場におけるキーボードの床上高の調節値

オペレーター数：５９人、延観測数：２３６人



平均値＝－９°

標準偏差＝４．５°

分布範囲：＋２～－２６°

図６－１５　視線俯角の調節値、目と画面中央を結ぶ線を視線とし、水平線との夾角が視線俯角である。正の場合視線は目より上方に向いている。

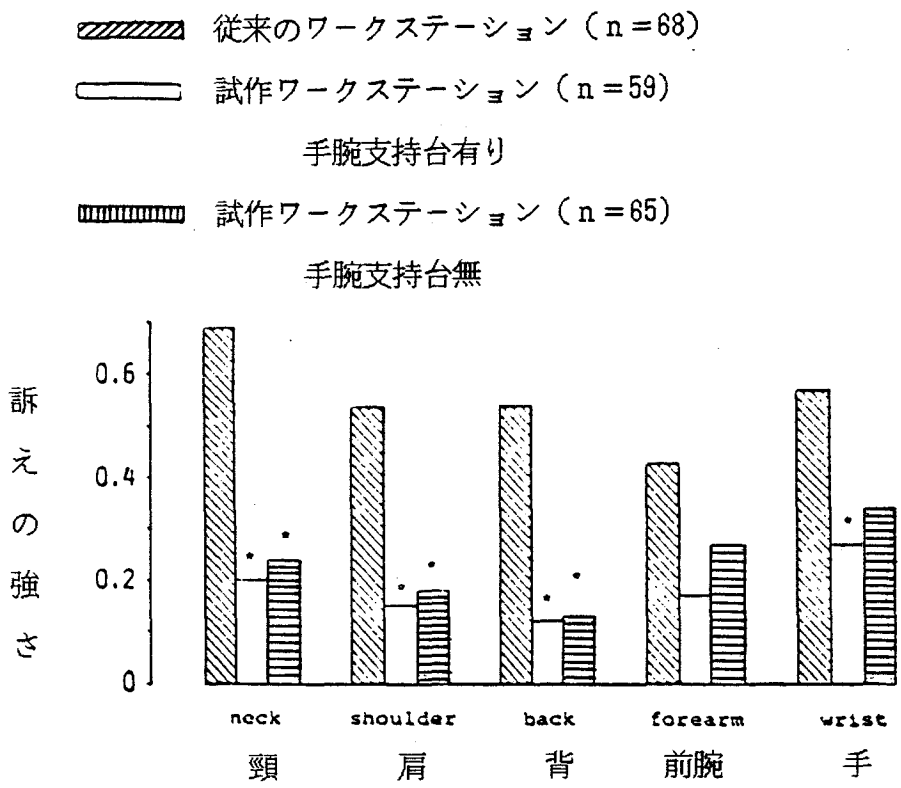


図６－１６　従来のワークステーションと試作ワークステーションの訴えの比較

＊は試作ワークステーションの方が訴えが有意に少ないことを示している（P＜０．０１）。中央値テスト、Ｋｒｕｓｋａｌ－Ｗａｌｌｉｓの一要因分析、Ｍａｎｎ－ＷｈｉｔｎｅｙのUテストによる

2－3　ワークステーション調節時の姿勢

ワークステーションを調節させた際の姿勢の測定結果を表6－8に示した。この結果を前節の実験室研究及び調節可能なワークステーション導入前の測定の結果と比較すると以下の点が明らかとなった。

1）被験者の姿勢測定値は、調節可能なワークステーションの利用のいかんに拘わらずほぼ同じ値を示した。

2）現場研究と実験室的研究の間に大きい相違が見られたのは、軀幹の傾斜である。すなわち前者は、軀幹の後方への顕著な傾きがみられたが、前節で述べた 10 分間のみの実験的作業ではほぼ直立であった。

3）さらに、現場研究では、上腕の前方挙上と肘の夾角が増大していた。軀幹、上腕、肘の平均調節値で現場での姿勢を図示すると図6－17のようになる。すなわち、軀幹を傾けた分だけ、腕を伸ばすようにして、キーボードを操作する姿勢が調節によってとられている。

第四節　ワークステーションの可調節性の意義

ビデオ表示端末ワークステーションの諸元に関連した従来の人間工学的推奨値勧告は、身体計測値と軽度の椅座作業の姿勢をもとにしている。若干の研究者、例えば Çakir (1979)らは平均座面高(48 cm) と座面からの肘の平均高を加算して、キーボード面の床からの高さを求めて、その推奨値として 72～75 cm を示した。

ドイツの Verwaltungs-Berufsgenossenschaft の規則は、キーボード台の高さとして 72 cm で、キーボード面は 75 cm を越えてはならないと規定している。また、ドイツの DIN の規格 No.4549(2) は、ビデオ表示端末ワークステーションの机の高さは 72 cm を提案しているが、キーボード本体の厚さが 3 cm 以上のときは、机の高さは下げられるべきとしている。これらは、明らかに、まっすぐに椅座した際の身体計測値に基づいている。しかし本研究は、より高いキーボード面高の多いこと、すなわち、75 cm を満たすのは被験者の 4 % に過ぎず、残りの者は、76～87 cm に調節していることを示した。

表６－８　試作ワークステーションの現場での調節による姿勢の計測値

被験者数：５９人、延べ観測数：２３６人（参、図６－２）

	平均値	標準偏差	範囲
軀幹の傾斜　（°）	１０４	６．７	９１－１２０
頭の傾き　（°）	５１	６．１	３４－６５
上腕前方挙上（°）	１１３	１０．４	９１－１４０
上腕側方挙上（°）	２２	７．９	１１－４４
肘の夾角　（°）	９９	１２．３	７５－１２５
尺側偏位　（°）	９	５．５	０－２０
肩峰とホームキーの距離（ｃｍ）	５１	５．０	４２－６２

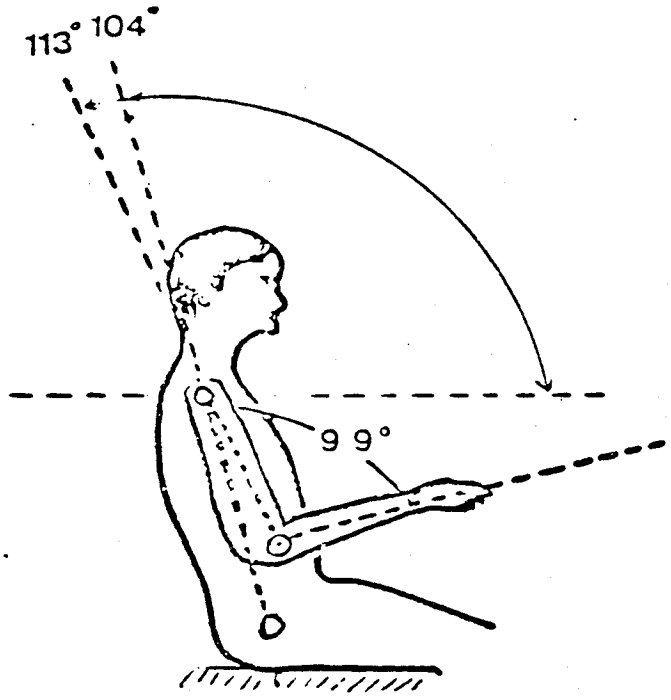


図６－１７　試作ワークステーション調節時の作業中の平均的な姿勢

視線の俯角については、Lehmannら(1961) が、椅座姿勢での読み取りについて、平均 −38°、95 % の範囲として −26〜−50° を得ている。本研究によれば、ビデオ表示端末取り扱い者の場合、明らかに小さい俯角に調節されている。

調節可能なワークステーションの方が身体症状の訴えが少ない原因の一部として、高くて、傾きの調節可能な背もたれにより、後ろへもたれても背中全体が十分に支えられ、腰背部の姿勢維持筋の弛緩が可能となることがあげられる。

本研究は、ビデオ表示端末のある事務所や職場を訪れた多くの人々が得る印象、すなわち大多数のビデオ表示端末取り扱い者は、ビデオ表示端末職務についての人間工学的推奨値を扱っている小冊子や標準が主張しているようなまっすぐに坐った姿勢をとらないことを裏付けた。本研究は、調節可能なワークステーションで軀幹を後に 97〜120°(95 % の範囲) 傾けるのみならず、調節不可能なワークステーションにおいてもビデオ表示端末取り扱い者が類似姿勢をとる傾向があることを明らかにした(参図６−１８)。

そこで、まっすぐに座った姿勢が健康的で推奨できるのか、後へもたれてリラックスして座る方が生理的負担が少ないのかという点を検討してみよう。

一般に整形外科医は、脊柱下部のわずかの前弯を伴うまっすぐの姿勢を推奨している。しかし、Nachemsonら(1970) スウェーデンの整形外科医のグループは、椎間板内の圧力と背筋の筋電図を種々の姿勢との関連で測定し、背もたれが、90〜110° の場合に両者の顕著な低下を認めている。Yamaguchiら(1972) も同様の方法で、背もたれ角度が 115〜120° の場合に脊柱が最も弛緩していることを示した。これらの観点からすれば、ビデオ表示端末作業者は、その体験を通じて負担の少ない後方に傾斜した軀幹をとっているといえる。その結果一般に推奨されている鉛直した軀幹が、みられるのがまれになると考えられる。

しかし、適切な可調節域を明らかにするためには、この種の実験の反復がまだ必要であろう。特に日本人の場合、身長、体形あるいは習慣が欧米人と異なるから、本研究で明らかにされた値をそのまま適用できないので、新たな研究が必要なことは明らかであろう。

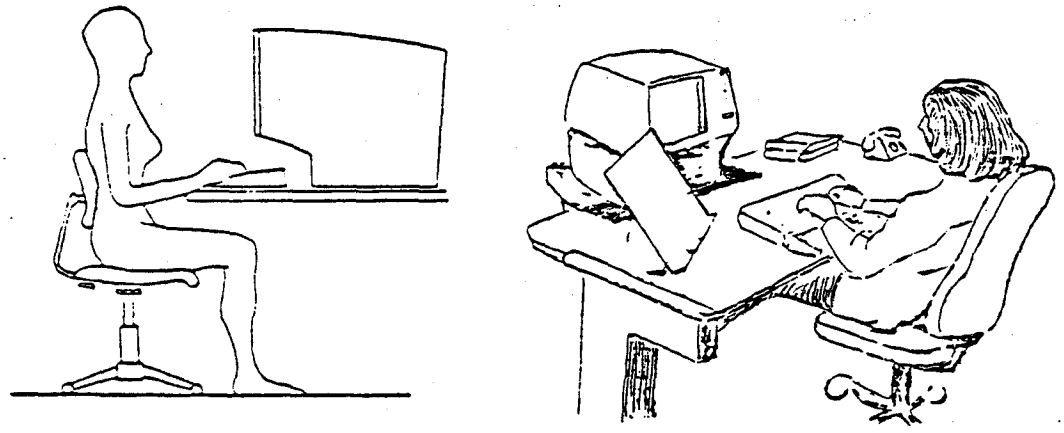


図６－１８　勧告姿勢と実際の姿勢

左図：多くのパンフレットや基準に示されている望ましい考えに対応する軀幹の直立した姿勢である

右図：ビデオ表示端末ワークステーションで最も多くみられる作業姿勢で、背と肩の十分な弛緩を保障している

文　献

Brown, C. R. and Schaum, D. L. (1980): User-adjusted VDU parameters. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed) : Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, 195-200. Taylor & Francis, London.

Çakir, A., Hart, D. J. and Stewart, T. F. M. (1979) : The VDT Manual. INCA-FIEJ Research Association, Darmstadt.

Çakir, A., Reuter, H. J., von Schmude, L. and Armburster, A. (1978) : Anpassung von Bildshirmarbeitsplatzen an die physische und psychische Funktionsweise des Mensche. Forschungsbericht Humanisierung des Arbeitslegens, Der Bundesminister für Arbeit und Socialordunung, Bonn.

DIN Norm (1981) : Entwurf No.4549, Screibtische, Büromachinentische und Bildschirmarbeitstische. Beuth Verlag, Berlin.

Elias, R., Mayer, A., Cail. F. and Christmann, M. (1980) : Investigation in operators working with CRT display terminals; relationships between task content and psychological alterations. In : Grandjean, E. and Vigliani, E. (ed): Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, 211-217. Taylor & Francis, London.

Grandjean, E., Nishiyama, K., Hünting, W. and Piderman, M (1982) : A laboratory study on preferred and imposed settings of a VDT workstation. Behavior and Information Technology, 1, 289-304.

Grandjean, E., Hünting, W. and Nishiyama, K. (1982) : Preferred VDT workstation settings, body posture and physical impairments. J. Human Ergology, 11,

45-53.

Hünting, W., Läubli, Th. and Grandjean, E. (1981): Postural and visual loads at VDT workplaces. I. Constrained postures. Ergonomics, 24. 917-931.

Läubli, Th., Hünting, W. and Grandjean, E. (1981): Postural and visual loads at VDT workplaces. II. lighting conditions and visual impairments. Ergonomics, 24, 933-944.

Lehmann, G. and Stier, F. (1961) : Mensch und Gerat. Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin, 1, 718-788. Urban und Schwarzenberg, Berlin.

Miller, I. and Suther, T. W. (1981) : Preferred height and angle settings of CRT and keyboard for a display station input task. Proceedings of the Human Factors Society's 25th Annual Meeting, U.S.A.

Nachemson, A. and Elfstrom, G. (1970): Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs. Scand. J. Rehabilitation Med., Suppl. 1. Stockholm.

Smith, M. J., Cohen, B. G. F., Stammerjohn, L. W. and Happ, A. (1981) : An investigation of health complaints and job stress in video display operation. Human Factors, 23, 387-400.

Verwaltungs-Berufsgenosscheschaft(Fachausschuss Verwaltung) (1980) : Sicherheitsregeln für Bildschirm Arbeitsplatze im Büroreich. Hamburg.

Yamaguchi, Y., Umezawa, F. and Ishinada, Y. (1972) : Sitting posture : An electromyographic study on healthy and notalgic people. J. Jap. Orthop. Ass., 46, 277-282.

第七章

結　　論

本論文では、1960 年前後から始まった技術革新の過程での機械化、動力化、自動化、コンピューター化により生まれた新しい二、三の人間機械系とそれに関連して発生した職業性の健康障害について論じた。

第一章、技術確信と職業病では、技術革新の過程で問題となった新しい職業性の健康障害の病因、発症機構、病像、治療に関する研究や人間機械系の労働負担の研究における工学的方法の導入とともに、機器、装置、設備が開発・導入される際には、安全と健康保護という視点から、事前に、科学的、工学的検討が十分なされていることが、必要なことを述べた。　第六章までの研究で、得られた二、三の人間機械系における健康障害の分析とその工学的解決法に関する結論を以下に概括する。

第二章、金銭登録作業者の頚肩腕障害の研究では、いくつかの工学的手法を応用し、頚肩腕障害の主な原因が

1）金銭登録機の過重なキー作動力
2）金銭登録機のキー配列が日本人の手の大きさに比べて大きすぎる
3）金銭登録機のキー盤面の傾斜が大きすぎること
4）タッチシステムによる準高速打鍵
5）立位での拘束姿勢、調節不可能な作業面高

にあることを明らかにした。これらの要因のため従来の店舗作業条件のままでは、長時間ないし頻回の上肢の同一肢位での保持、又は、反復使用が作業者にとって過重な負担となること。さらに、副次的要因、すなわち、上記の過重負担をさらに強める要因として

1）計算や記憶の機能に欠ける金銭登録機
2）打鍵情報の表示位置の不適切さ
3）顧客へのサービス、商品の包装などの心身負担
4）顧客本位の環境条件

5）競争原理による業績管理

6）疲労回復条件の不備

を明らかにした。

第三章、動力工具取り扱いによる局所振動の研究では、局所振動暴露によって生じる慢性的ないし急性的な知覚異常の程度とその感覚生理学的研究の問題点を概括し、振動暴露による振動覚閾値の一時的上昇の研究の意義を明らかにし、動力工具取り扱いの実態に即した振動暴露を行なうために、特別に試作したハンドルを把持させ、その把持力と牽押力（引いたり、おしたりする力）を調節させながらハンドルを加振した場合の振動暴露による振動覚閾値の一時的上昇の実験的研究について述べた。その主な結果は、振動覚閾値の一時的上昇が

1）暴露振動の周波数に依存し、200～250 Hzで最大となる。

2）暴露振動の振幅のべき乗に比例して大きくなる。

3）振動するハンドルを把持する力が大きいと大きくなる。

4）振動暴露後の時間経過とともに指数関数的に小さくなり回復する。

ことである。

さらに、得られた実験データをもとに暴露振動の周波数が 8～2000 Hz の場合についての、振動覚閾値上昇の大きさなどを良好に近似する数式モデルを明らかにした。

第四章のビデオ表示端末の反射防止策の評価の研究では、コンピューターの表示端末として急速に普及しつつあるビデオ表示端末の取り扱いによる目の症状の発生と、その原因と考えられるビデオ表示端末の特性を検討し、以下のように、ビデオ表示端末が有する視器への負担要因を整理して示した。

1）表示される画像の時間的特性に関するもの

2）表示画像の空間的特性に関するもの

3）環境との相互作用特性に関するもの

4）発生する電磁波のスペクトルに関するもの

5）その他、騒音、放熱等

さらに、ビデオ表示端末の光学的特性のなかでもとくに、画面からの反射光の視器への影響を減じるために、画面に施されている種々の反射防止策の反射抑制効果ならびにその

他の光学的特性への影響を明るい文字が暗い背景に表示される陰画の端末について測定、評価し、陰画表示法の場合、反射抑制効果の高い反射防止策のみを施したのでは、一概に視覚的負担の軽減は期待できず、良好な陽画表示法の開発の必要性を明らかにした。

第五章、ビデオ表示端末の画像書き換え周波数と視機能・自覚症状では、ビデオ表示端末の画像書き換え周波数（フィールド周波数、リフレッシュ周波数、交照周波数などとも呼ぶ）と視機能、自覚症状の関係を明らかにし、望ましい画像書き換え周波数の下限を示した。

すなわち、スライド・プロジェクターを改造したビデオ表示端末のシミュレーターを開発して画像を表示する方法を用い、蛍光減衰（ピーク値の 10 % 迄の）時間が 4 msec で陽画表示の場合について、読取り作業の負荷を 60 分とした実験によりフリッカー値、眼位、近点視力については、30 Hz ないし 60 Hz で印刷文書や、点滅のない画面に比べて、有意な機能低下が認められ、とくにフリッカー値を文書作業なみの低下におさえるには、画像書き換え周波数は、90 Hz 以上を必要とすることを示し、現在のビデオ表示端末に広く使われている 60 Hz という画像書き換え周波数が低すぎることを生理学的に明らかにした。

第六章では、ビデオ表示端末作業者の状態に合せた、ワークステーションの諸元の調節が、作業者の拘束姿勢負担を軽減することを示した。すなわち、

1）キーボードの高さ、位置、手・腕の支持台の使用

2）画面の高さ、視距離、傾斜

3）座面の高さ、位置

4）文書台の傾斜、位置

についてそれぞれ調節可能なビデオ表示端末ワークステーションを試作し、これを用いて、実験室内研究と現場内使用研究を行なった。

実験室内研究では、いくつかの所定の拘束条件と作業者の調節条件のもとでビデオ表示端末作業を行なわせ調節条件下で最も愁訴が少なくなることを示した。

また、現場内使用研究では、従前の机・椅子使用条件下と試作ワークステーション条件下の間の比較を行ない、やはり、調節条件下で愁訴の少ないことを示した。

さらに、ワークステーションの各諸元について作業者が耐容しうる範囲を測定したとこ

ろ、一定の条件に固定された、あるいは、調節範囲の狭いワークステーションでは、かなりの作業者がビデオ表示端末作業を耐容できないことを示した。

第二章で論じた金銭登録システムは、最近のビデオ表示端末式金銭登録機の開発・導入により新たな変容を遂げようとしている。第四章から第六章において論じたビデオ表示端末の問題が絡み始めたのである。すなわち、新たな視覚的負担の関与とともに、我が国では、多くの場合、椅坐で作業できない金銭登録システムにレジ作業者は従事してきたという状況の中で、ビデオ表示端末式の金銭登録機における拘束姿勢の問題が検討課題として挙ってきた。

ビデオ表示端末作業者の負担について、ビデオ表示端末の視覚的負担や拘束姿勢の問題は、既知の知識で解決できることであり、より重要で困難な研究課題はソフトウエアと人間の関係であるとも最近では言われている。ソフトウエアの人間工学が重要研究課題になりつつあるることは疑いないと思われる。しかし、視覚的負担や拘束姿勢の問題も個々の状況における記述的研究の集積という域を出ておらず、オフイスの機器等の開発・導入・運用についての体系的、普遍的な知見を示しうるに致っていないといえる。特に我が国ではその傾向が強いと思われる。第一章で述べたような現代における職業病の大部分に共通している発生要因を顧みるならば、急速に進行しつつある事務のコンピュター化ないし自動化の中で、働く人々の安全と健康を守る上でなされるべき工学的課題は非常に多く提起されていると思われる。

第三章の局所振動に関連した研究は、振動障害が、人体に加わる振動の生理学的影響の評価についての新しい研究課題を提起し、第五章のビデオ表示端末の画像書き換え周波数の研究は、点滅光の生理的影響の機構の解明等の新しい研究課題を提起していることを示した。このように現代における職業性の健康障害は、他方で、人間の生理・心理をより深く理解する必要を生み出してきた。また、現代の科学技術に支さえられて、これらの理解を深められる可能性も大きく広がってると考えられる。新しい労働・人間機械系の出現とともに、人々の健康を守り、増進させるという視点からの労働の生理・心理の深奥を極める研究課題は増加の一途をたどり、それぞれが働く人々にとって切実な願いにとなっているといえる。

著者には、今後ともこれらの課題にこたえるべく、科学技術の知見の学習・応用につとめるとともに自らの独創的研究を進めていくことが、尚一層必要とされていると考える。

謝　　辞

本論文の第二章の研究は、筆者が、関西医科大学衛生学教室在職中に、細川汀助教授（現、京都府立大学教授）の御指導のもとに、中迫勝助手とともに行なわれたものです。終始御懇切な御指導、御鞭達を賜った、細川汀教授に衷心から感謝の意を表します。また本研究の遂行に当り、種々の有益な御助言、御討論頂いた中迫勝助手に心より感謝の意を表します。

本論文の第三章の研究は、筆者が滋賀医科大学予防医学講座において、渡部真也教授の御指導のもとに行なわれたものです。本研究を行なう機会と場を与えて頂くとともに、終始御懇切な御指導、御助言を戴いたことに心より感謝の意を表します。

本論文の第四章、第五章、第六章は、スイス連邦工科大学の衛生学、人間工学研究所所長、グランジャン(Etienne Grandjean) 教授の御指導のもとに行なわれたもです。筆者を暖かく迎えて頂き、終始、御懇切な御指導、御助言を頂き、お世話になったグランジャン教授に厚く感謝の意を表します。

第四章の研究の遂行に際して種々御懇切な御指導、御助言を頂いたブロイニンガー(Ulrich Bräuninger)氏、デ、ボエール（Hildeke de Boer）嬢、ギリ（Stefan Gyr）博士、ギーラー（Robert Gierer）氏、サンチン（Elisabeth Sancin）夫人、ロイブリ（Tomas Läubli）医学博士は、著者の良き協同研究者であり、シミュレータの製作、実験、解析等で、直接御協力頂き、種々有益な御助言、御討論を頂きました。厚く感謝の意を表します。

第六章の研究の遂行に際して、ヒュンティング（Wilhelm Hünting)氏、ピーダーマン(Mario Pidermann) 氏は、著者の良き協同研究者であり、種々の有益な御助言、御討論を戴きました。心から感謝の意を表します。

スイス連邦立工科大学での研究の遂行に際しては、その他に、秘書のブランドリ(Beatrice Brandli) 夫人、ディーゲルマン(Margrit Diggelmann) 夫人、ハベリ(Cecilia Haberli)夫人をはじめとして衛生学、人間工学研究所の諸氏に、種々有益な御助言を戴き、多大の便宜を計って戴くとともにお世話になりました。厚く感謝の意を表します。また、同研究所に筆者と同じく留学されていた中迫勝関西医科大学助手、村松常司愛知教育大学助教授、村松園江東海女子短大助教授にも種々有益な御助言、御討論を戴き、お世話になりました。心から感謝の意を表します。そして、スイス留学の機会を与え、筆者の職務を代行して戴き、終始、御鞭達、御助言を戴いた渡部真也教授はじめ、滋賀医科大学予防医

学講座の諸氏に厚く感謝の意を表します。

本論文作成の端緒は、著者が大阪大学大学院基礎工学研究科に入った頃にあります。京都大学在学中に抱いた人間機械系に対する関心について、桜井良文教授、田村博助教授には、田村研究室の研究生として勉学・研究の場を与えて頂き、引き続いて大学院（制御工学専攻）に進学することができました。そして、制御工学科の諸先生方には種々の御指導、御教示を戴き、本論文作成の基礎を培うことができました。これらの諸先生方に深く感謝の意を表します。

本論文の作成に当り、終始暖かい激励の御言葉を戴くとともに、多大の便宜を計って戴いた大阪大学の桜井良文教授、田村博助教授はじめ諸先生方に厚く感謝の意を表します。また、本論文作成の機会と場を与えて戴き、多大の便宜を計っていただいた滋賀医科大学予防医学講座の渡部真也教授、福地保馬講師、永田ひろ子事務官に心から感謝の意を表します。

最後に、本研究の遂行に際して、御協力戴き、御鞭達を戴いた働く人々、被験者の方々に厚く感謝します。