Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

バイオメカニズム学会誌, Vol. 7, №4 (1983)

解　説

視覚と触覚のあいまいさ

野呂影勇*

1. 対象に対する合目的行動

ほとんどの感覚受容器はさまざまな対象に対して、それに合った行動を行ない目的を達する。これらの行動は、一見あいまいと思われがちである。しかし、詳しくその行動を解析してみると、きわめて整然とした論理が働いている場合も多いのである。本稿では、視覚と触覚のあいまいさについて、この観点すなわちあいまいさの解明をとりあげる。とくに運動の面を解析した結果についてとりあげる。

2. 視覚情報のあいまいさを解明するための眼球運動の解析

対象を詳しく見る場合に、その対象を黄斑中心窩にとらえなければならない。そのときの神経インパルスの系路は入力系・中枢処理系・出力系である。その機能解剖についてまず述べる。

視覚および前庭刺激によって生じる眼球運動には (1)滑動性 (smooth persuit) 眼球運動 (2)衝動性 (saccadic) 眼球運動 (3)前庭性 (vestibular) 眼球運動がある。これらは、互いに密接に関連して頭部が動揺しても目標を中心窩に安定して保つことになる。

眼球の衝動性運動 saccadic movement は、眼球をある目標から他方向にある目標へ急速に動かす眼球運動である。意志あるいは意識的におこる場合と無意識的に視野の周辺部に出現した目標とか、ある音に対して反応しておこってくる場合がある。

滑動性追従運動の中枢が後頭葉にあるのに対して、衝動性運動の中枢は前頭葉 frontal lobe にある。すなわち、中前頭回 middle frontal gyrus の後部の Brodmann の分類による area 8 がそれに当り、前頭眼野 frontal eye field と呼ばれる。ここを出た神経線維は内包前脚 anterior limb of the internal capsule を経由し、中脳 midbrain まで同側を下向し、中脳で交叉して対側の PPRF へ向い、外転神経核の高さで水平注視中枢に終る。

滑動性追従運動が同側支配であるのに対して、衝動性運動では対側の大脳半球支配である。

2－1 物を見るのに近づく理由と有効視野

(1) 分解能の向上

ここで視標を数えた結果の確らしさ換言すればあいまいさを考えてみよう。

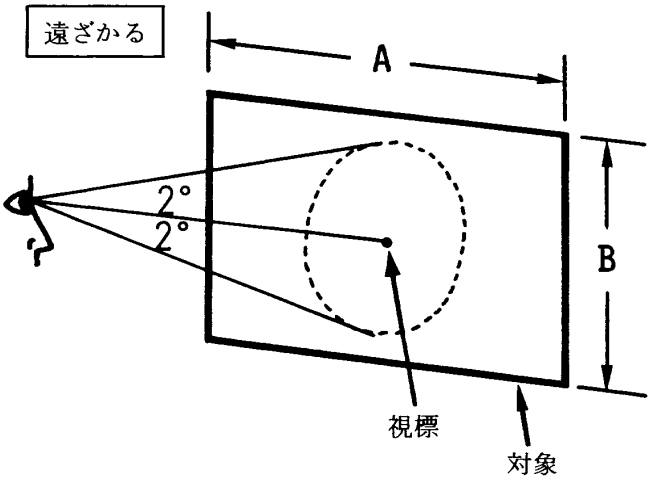


図1　これでは視標のディテールが見えない

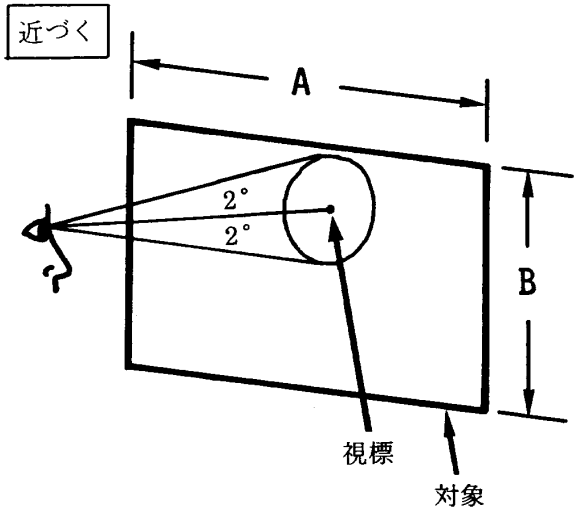


図2　近づくことでディテールが見える
対象の大きさは図1と同一とする

昭和58年8月21日受付

*産業医科大学人間工学教室
〒807 福岡県北九州市八幡西区医生ヶ丘 1-1

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

人間の網膜で精度の高い部分は中心窩で 2° 前後といわれている。[1] 従って見るべき対象と両眼の中間点とのなす角度を 2°にするには遠ざかればよい。しかし視標の大きさによっては、あるいは要求される確かさによっては、これでは具合が悪い。そこで目を視標に近づける必要がある。目を視標に近づける意味は、網膜上の像を大きくし分解能を向上させること及び個人の視機能の微調整である。

(2) 有効視野

次に、目と対象の距離を一定として考えてみる。視点を一点に固定して間接視で見ることができる全ての範囲を視野 (Visual Field) という。両眼視の視野は 200°以上にも及ぶものである。しかし結果の確からしさを考えると、もっと狭い範囲に限定する必要がある。視標を誤りなく検出できる最大視角を有効視野と定義する。[2] たとえば注意を集中させると周囲の状況が眼に入らなくなる現象は、視野でなく有効視野が狭まくなったことを意味する。しかし有効視野は、そのヒトに依存することなので明確に規定することが困難である。いくつかの推定法 (たとえば [2]) が提案されている。有効視野は眼球の運動法 (Search Strategy) と密接な関係がある。

図 3～5 は、この点に着眼した Noro の方法による推定結果である。

2－2 ものを数えるときの衝動性運動 (サッケード) の必要性 [3]

視標を数えるときに、上に述べたサッケードが必ず発生するとはかぎらない。作業条件と視標の数に応じて眼球を動かす場合と動かさない場合がある。これらを総称してサーチ方法と呼ぶ。

(1) フィグゼーション (Fixation) : サーチ方法 1

たとえば 10 個の視標を数える作業を考える。原理的には、10 回のサッケードを必要とする。このサッケードは、それぞれ 1 回のフィグゼーションと対応する。図 3 はその典型である。これをフィグゼーションプロセスと呼ぶ。

(2) スービタィズィング (Subitizing) : サーチ方法 2

視角が水平で 25° 以内でしかも視標間の距離がそれほど離れていない条件の下では、1 回の注視で数個の視標を数えることが可能である。このプロセスを Subitizing と呼ぶ。図 4 はその 1 例である。

(3) コンビネーション (Combination) : サーチ方法 3

図 5 は、9 個の視標を 3 回の注視で数えている。このような数え方をコンビネーションプロセスと呼んでいる。この呼び名の由来は、スービタィズィングとフィグゼィションプロセスの「コンビネーション」である。

作業条件の違いによってこれらの 3 つのサーチ方法の比率がどのように変化するかを示したのが図 6 である。各条件とも同一の試料群 (n＝27 視標数 2～10) について集計した。この図は、スービタィズィングとコンビネーションがいずれの実験条件でもほぼ同じ比率で推移していることを示している。この結果は、両方の方法は類似と考える根拠を与えるものである。

2－3 眼球運動の三次元表示

眼球運動を解明するには、2 次平面上のどこに視線があるか、その視線が時間的にどのように推移していくかの 2 面から目的に応じて研究することになる。前者の測定には、角膜反射法 (アイカメラ) が難点はあるものの使える。後者は、眼球

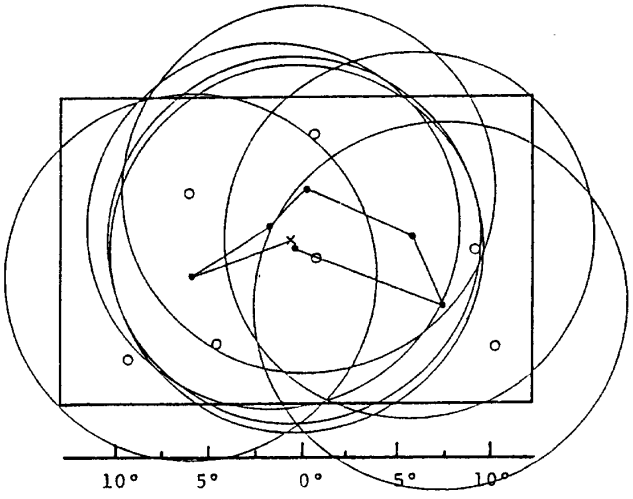


図 3 フィグゼーションプロセスの例

○印は視標●印は凝視点を示す。実線は眼球運動の軌跡、円は推定有効視野を示している。× 印は始点

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

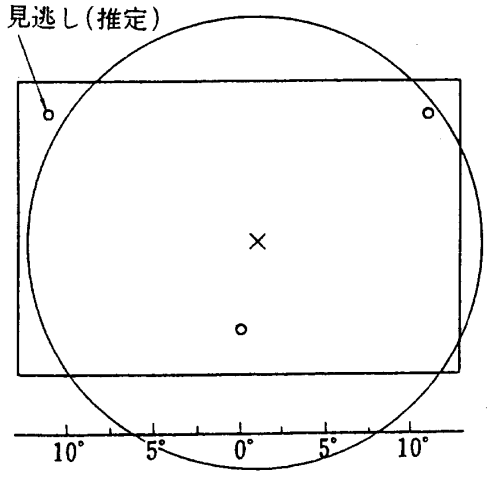


図4　スービタイズィングの例

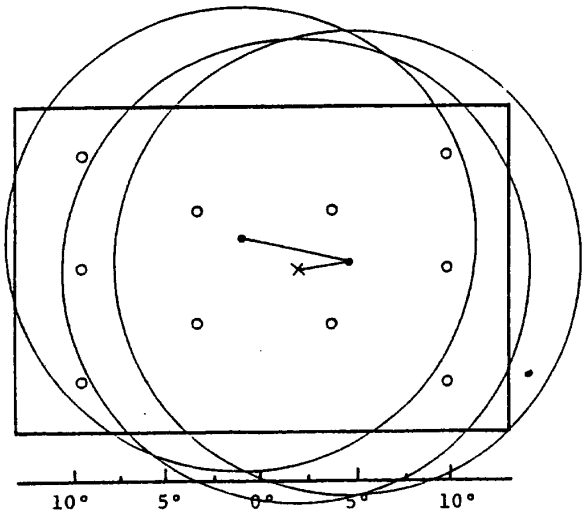


図5　コンビネーションの例

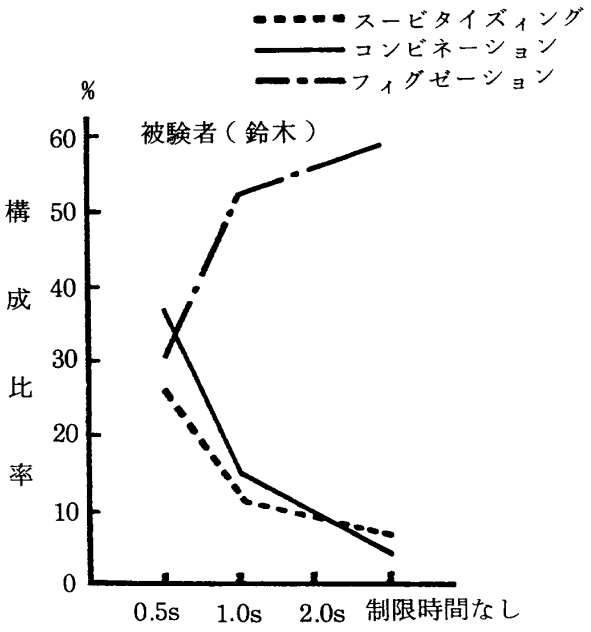


図6　各実験条件におけるサーチ方法の比率

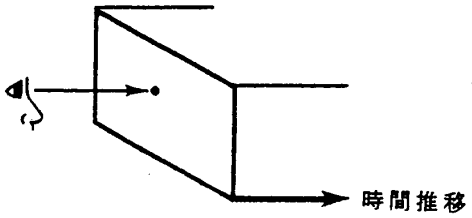


図7　サッケードの全体像を知るための3次元表示

電位(FOG)を用いるのが一般的である。さらに2つの方法を同時に用いてサッケードの全体像を知りたいという場合もある。サッケードの2次面上の軌跡を時間推移でとらえるためには3次元表示が必要となる。この表示方法は図7のとおりである。

図7の説明を次にのべる。

1. 直方体の断面は視対象
2. 注視点を●印で示す。
3. 視対象に布置される視標は○印で示す。
4. 視線が停留している間は1個の直方体で表わす。
5. 視線が移動すると別の直方体となる。
6. 2つの直方体の間は、高速(0～10 ms)で行なわれる視線の移動で、この間は眼からの情報の取り込みは行なわれない。

図8は、アイカメラによる測定結果の表示である。

この図でわかるとおり、視覚による情報の取り込みは断続的である。したがって平面上のなにかの視標を追跡する場合、切れ目の個所で盲点が生じ視標の見落しを発生することになる。

3. 触覚情報のあいまいさを解明するための手指の解析

最近では、触覚は、刺激の型によって、触覚と圧覚に区別するのが普通である。前者のための受容器として、マイナス小体、後者に対してパチニ小体がある。いずれも、皮膚の中にあり、感覚神経は、背髄の後根を通って後角に入る。遠心性の運動神経は前根を通って末梢の効果器に到達する。

普通外界から情報を取り込むのは視覚を中心である。触覚は視覚に比べるとかなりあいまいさが大きいといえる。以下に述べることは、触覚情報

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

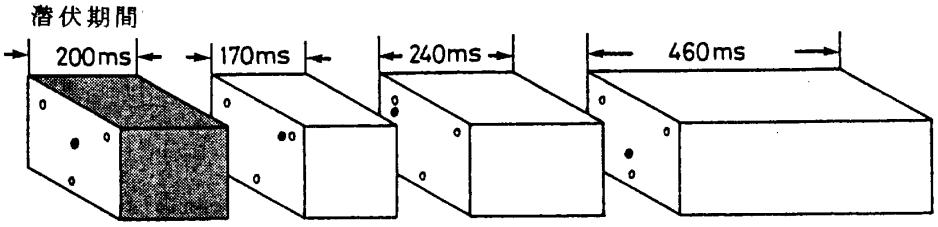


図8　視標3個を停留回数4（始点を含む）、サッケード数3、所要時間 1300 ms で数えた。○印が視標、○印が注視点、最初の直方体は眼球運動の潜伏である。

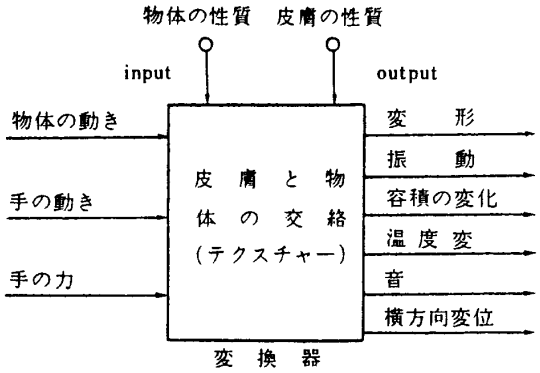


図9　表面触の変換器 (Taylor)

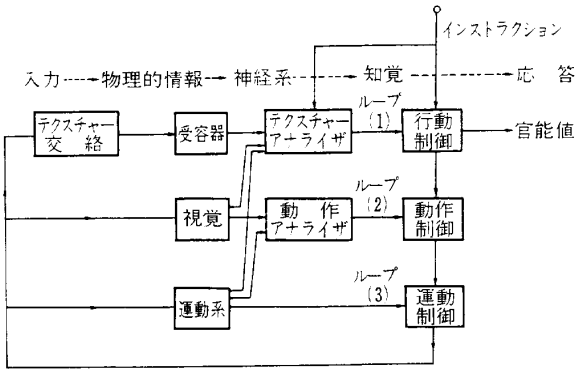


図10　触覚判断のメカニズム (Taylor)

の仕組みを手指の運動面から解明しょうとするものである。

Tayor ら[4]は、次のような考えに基づく触覚モデルを発表している。まず、触覚による知覚は、対象物の表面の特性と皮膚の条件（湿っている、乾いているといった）の組合せの上に生ずるものとして、変換器 (transducer) の概念を図9のように定義している。この図をさらに人間の内部のコントロールメカニズムとして説明したものとして、図10を示している。この図によって触覚判断の全体像が与えられる。

ここに示されているコントロールメカニズムは次のような階層構造をしている。

(1)　行動制御 (behavior control)：このループの機能は目的に適合した表面接触の方式を選択することである。たとえば表面粗さの場合、適切な接触行動は物体の表面を軽くなでまわすことである。しかし、マットレスの下に隠された物体が何であるかを知りたいのであれば、別の行動——ちょっと押してみる——が必要である。

(2)　動作制御 (movement control)：行動ループによって選択された表面接触の方式を実行するのに必要な個別的動作命令を下す。

(3)　運動制御 (motor control)：動作命令を筋運動命令にブレークダウンし、加えて動作命令が確実に行われかたをモニタする。

以上の内(3)に関して次のようなモデルを考えた。

すなわち、図11は指の物体上の接触位置と触覚に必要な水平力と押圧力を図示したものである。

ここで図中の垂直分力 fv の概略値は、指の操作の違いによって表1の如く変化する。

人間は前腕や上腕の能動的な運動によって距離・大きさ・重量・形・硬さ・柔らかさ・きめの細かさ・粗さなどを知ることができる。

指が対象に作用する力を表2に示す。

図12は、金属表面のあらさ：平均ピッチを 100 から 150 まで変えた試料をあらさの程度を知るために手指でさわったときの運動の様子を実験結果から示したものである。

図12は、金属表面のピッチが大きくなると（したがって粗くなると）手指が表面に接触する時間と回数がいずれも減少することを示している。

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

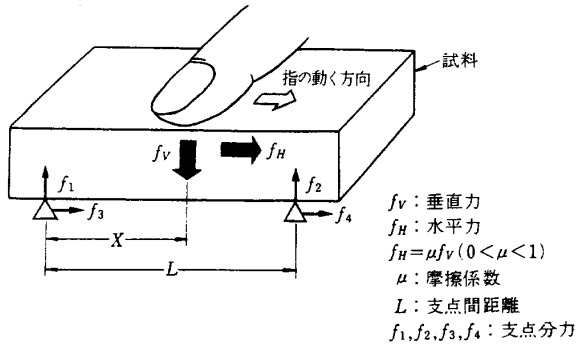


図11　指の接触位置と押圧力の測定原理[5]
この図は指の運動と触覚の総合的表現となっている。

表 1　指の操作の違いによる力(岡田)

対象の表面を軽くなでる	10 ～ 20 g
指を緊張させる	120 g
指に軽く力を入れる	200 g
瞬間最大力	1 Kg

表 2　指の操作の力学的分類[5]

押圧力	指が垂直方向に加える力で、主にキ操作で用いる。これを垂直成分fvとする。
水平力	指が水平方向に加える力で、主に対象の表面の状態を知る(触覚)ために用いる。これを水平成分fvとする。

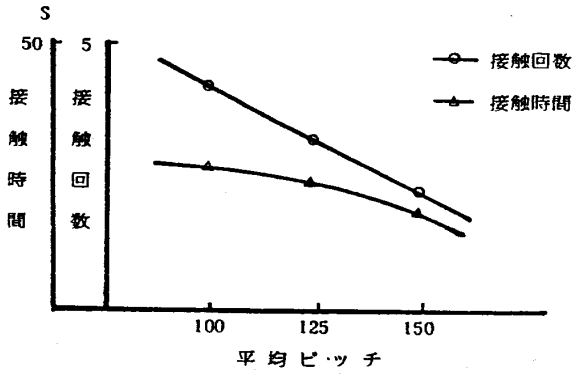


図 12　金属加工表面の平均ピッチの異なる試料での手指運動の違い(野呂・岡田)注)

注)　この結果は、野呂,三輪,斎藤(幸),飯田,岡田による共同研究(未発表)の一部である。

この結果は、対象の特性がちがうと指の運動が変わることを示している。図9と図10に示したTaylorの変換器の存在を部分的に証明するものである。

4. 視覚と触覚の協同運動

視覚と触覚を両方使って対象の情報を取り込む行動は、日常生活において非常に多いものである。

1つ以上の感覚受容器を用いる場合 (Multiple-Sensory Input) を分類すると表3のようになる。

表3. Multiple - Sensory Input の分類

タイム シェアリング
同時に多重で使用
ノイズチャネル

“タイムシェアリング”とは、いくつかの受容器から入ってきた情報を1つのチャンネルを時分割して処理することをいう。

次の“同時に多重で使用する場合”とは、一種の冗長性を含めて、同時に重ねて使用することをいう。“ノイズチャンネル”とは、とくに聴覚が多いが、一般環境である受容器から情報を取り込んでいるときに別の受容器からノイズが入ってくるという状態をいっている。

本稿では、同時に多重で使用する場合を扱う。この場合の利点は、たとえば信号の検出など全体としての感度が上昇することである。

4－1　眼と手におけるアナログ／デジタル運動

眼と手はいずれも対象によってアナログ的な動きをしたりする。それらを一覧表にまとめてみる。

表 4.　眼と手はいずれもアナグロ・ディジタル行動をする。

	アナログ	ディジタル
眼	滑動性	サッケード
手	対象をなぞる	キーボーディング

人間の眼と手はアナログ。デジタル両方の運動の可能性を持っているわけである。感覚情報を多重で取り込む場合は、眼がデジタルで手がアナログである。眼と手が互いの弱点をかばいながら運動しているものと考えられる。加えて、多くの場合手の動きが視線の移動のガイドになっていることも忘れてはなるまい。

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

4−2　協同運動の解析

日常生活では非常に多い協同運動も、測定法や研究となると非常に例数が少ない。その理由は、研究の細分化の今日的傾向のもとでは、両方を1人の研究者が研究することはほとんど考えられない。測定法についても、協同運動を測定することは制約が多くて困難である。

次の方法は、野呂と戸上により近年開発されたビデオによる方法である。[7]

(1)　ビデオカメラの配置

2台のカメラを用いた。カメラAは検査台の横の位置に据える。カメラAの位置からは製品が検査員の所に達した位置から検査が終了して、コンベアで送り出される位置までの全景を据えることができる。これは、検査員及び対象物の動きの相互関係を把握するためのものである。

このカメラによって撮られた作業の記録は、主に検査作業の要素分解と個々の検査個所に要する時間の計測に用いられる。またカメラBでは撮えられない手の動きおよび視覚についての観測に用いる。カメラBは検査台の斜め下の位置に据えられた。カメラの位置からは、特に顔の向う方向と手の動きの一部を測定することができる。

図13は、2つのカメラの位置から検査員の眼と手の対象をとらえたものである。

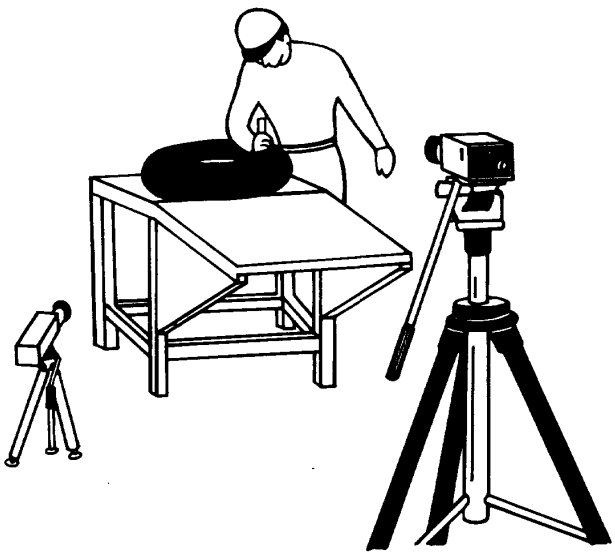


図　13

測定結果により眼の動きと手の動き、したがって検査対象の注視と接触位置が推定される。

このカメラにより撮られた記録は、検査作業の要素分解や時間測定のうち、特に眼と対象物の対応関係を部分的であるが詳しく把握することに役立つ。加えてこのカメラ2台を組み合わせることによって、カメラの位置によって生じる各々のカメラの死角を補う。

(2)　2台のビデオデッキの同期化

録画時に時刻を1/100単位で画面上に書き込む。これらの時刻は完全に同期されるように設計されたビデオタイマを用いて行なわれた。2系統の時間遅れは20ms / 時である。

(3)　ビデオモーションアナライザ

実験中撮られた記録は、ビデオモーションアナライザを用いて解析された。このアナライザは備わったビデオシート上に、1秒間に30秒の画像を約10秒間記録できる。記録された画像は、フォーワード、スロー再生、スロー逆方向再生 STILL 1/7倍速および1/15倍速のいずれかのモードで再生し、必要な解析を行なった。

(4)　ビデオの1フレームから得ることのできた情報

1フレームから得た測定項目を表5に示す。表5の3と4の項目から製品上の眼と手によって行なわれたサーチ距離が計算される。1の項目の時間とこの距離を対比させることにより各受容器の製品上の探索時間が計算される。(表6)

1つの製品の検査のビデオ記録から得られたフレーム数は750フレーム

ただし1製品の検査時間 : 25 s

1秒当りのビデオフレーム数 : 30

(5)欠陥発見に必要な探索を記述するパラメータ

探索行動を記述するために必要なパラメータは表6にリストされているものが検討の結果選ばれた。この表は表5の4つの項目を実際に測定した後の計算のためのフォーマットの項目として用いられる。

(6)　結果の一部

視覚と触覚を用いる工場検査について解析を行

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

表 5．ビデオの1フレームから得ることのできる項目

1．1/100 S 単位でフレームに書き込まれた時刻を利用して要素作業に要する時間
2．2 つの受容器が情報獲得に要する時間
3．検査員が注視している製品の位置
4．検査員の手が触っている製品の位置

表 6．探索行動を記述するためのパラメータ

欠陥の存在する場所
欠陥の名称
欠陥を発見するために必要な製品上の検査範囲 ： 検査員の有効視野と密接な関係がある。
探索を行なう受容器の種類 ： その検査範囲のために必要な受容器
検査回数 ： 同じ範囲をくり返した回数触覚では複数回のくり返し探索を行なうのが常である。
サーチ距離 ： ある受容器が探索した製品上の長さ。
サーチ速度 ： 単位長当りの探索時間。この数字が大きいほどおそいスピードで探索したことを意味する。

表 7 受容器別探索パラメータの推奨値(右手について省略)

受容器＼検査因子	実検査時間 (秒)	距離 サーチ (周)	速度 サーチ (秒／周)
目	4.0	1	4.0
左 手	1.5	1	1.5

なった結果、あいまいさの少ない探索行動のパラメータの推奨値として表7が得られた。

5．結 論

工場で人間の感覚受容器を用いて行なう検査の大半は周知のごとく視覚検査である。他に視覚と触覚を併行して用いて行なう検査もかなり存在する。視覚のみを用いて行なう検査は、今後急速に機械化される傾向にある。これに対して視覚と触覚を併用する検査では2つの受容器を両方とも機械化することが困難である。今後も機械化されず人間による検査が行なわれるであろう。この種の検査の欠点は、検査精度が検査員の能力に依存することであいまいさの大きいことである。この点で検査の精度を高めるための研究が必要である。

文 献

1) Kafuman, E. L. : The discrimination of visual number, American Journal of Psychology, 62, 498−525, (1949)
2) Noro, K., : Costructing a search model to predict percent correct counts for each sample, Proceedings of the Human Factors Society−24th Annual Meeting (1980)
3) Noro, K., : Descriptive model of visual search, Human Factors, 25 (1), 93−101 (1983)
4) Taylor, M.M., Lederaman, S. J. and Gibson, R. H. : Tactual perception of texture, Handbook of Perception, 3, Academic Press, N. Y., 1973.
5) 野呂影勇：調査実験人間工学，日刊工業新聞社，1982.
6) McCormick, E. J. : Human factors in engineering and design McGraw−Hill, 53, 1976.
7) Noro, K., : Analysis of visual and tactile search in industrial inspection, Ergonomics (in print)

NII-Electronic Library Service