感覚計測の応用*

矢野 宏**
鴨下 隆志**

展 望

1. 感覚計測の現状

感覚計測と官能検査という2つの言葉は同じであるようでいて、必ずしも同じであるとはいえない。本年3月の計測自動制御学会の会誌では「感覚の計測」という小特集を組んでいる。その場合は人間の感覚で行う計測そのものを対象としているのはもちろんであるが、同時に、そのような計測を機器におきかえること、センサを開発することなども含んでいるように思われる。官能検査の場合は人間の感覚的な判断そのもの、さらにその定量化が中心のように思う。

官能検査と呼ばれる分野は心理学と数理統計学を背景に持ち、人間の嗜好とか感覚とか、いわば工業的には計測しにくい心理的な分野において目覚しい発達を遂げてきた。したがってかなり漠然としたとらえどころのない感覚レベルの問題に対して解答を与えることは可能になっていると思う。これらの研究は日本科学技術連盟の官能検査研究部会を中心に進められている。同部会の構成メンバーと、官能検査の対象となる分野を示すと表1、表2のようになる。これより明らかなように、メンバー構成も対象分野も広範囲にわたっているが、主流となっているのが嗜好品である。また、デザイン、市場調査などの開発的な研究も少なくない。最近は建築関係の品質管理が進められていることから、都市空間性、建築物外観、居住性などのテーマが増えている¹⁾。しかし、表1、表2からわかるように、製造工程、特に機械系の製造工程の官能検査のテーマが比較的少ない。機械系の企業では官能検査の問題が少ないかというとは実は逆で、むしろ機械系の企業の方がかえって解決しにくい問題を抱えているのが現状のように思う。

表1 日科技連官能検査研究部会参加メンバー構成

分野		食	化	精密	電	輸送	建
年度	回数	品	学	機器	機	機器	設
'78年	20回	5	7	1	1	2	0
'79	21	3	6	3	1	2	2
'80	22	3	7	4	1	2	3
'81	23	2	5	2	2	1	5
'82	24	6	3	3	2	1	8
'83	25	4	4	6	2	2	9

表2 官能検査の対象となる分野
(日科技連官能検査シンポジウム資料より)

分野		食	化粧品 におい	衣 料織 物	デ ザ イン	サ ー ビ ス	都 市 建 物	表 面 粗 さ	音 響	機 械	時 計 カ メ ラ	目 視	数 理
年度	回 数	品											
'78年	8回	7	1	1	1	3	0	1	1	1	0	1	6
'79	9回	2	3	1	2	3	0	2	2	0	1	1	4
'80	10回	3	1	3	0	3	1	2	0	1	1	1	1
'81	11回	8	3	2	3	1	4	1	0	3	4	0	2
'82	12回	4	5	3	3	1	3	3	1	2	2	0	1
'83	13回	7	3	1	6	1	4	0	1	0	1	1	1

機械系の官能検査の場合、関係者の意識として官能検査でなく、機器による計測を行おうとする傾向が強い。しかも、それを工程で行おうとする。このようなことから、官能検査的な研究はむしろおろそかにされて、工程改善的な対策がとられる。しかし、実際問題としては、容易なことではなく、中途半端のままで放置されることになる。

以上のことを整理すると、本来、人間の感覚に依存せざるを得ないために、官能検査の研究に集中する場合と、工程における条件特性などで代用することに重点があるため、官能検査をおろそかにしてい

* Application of Sensory Measurement.

** H. Yano and T. Kamoshita. 工業技術院 計量研究所 第1部 計測機構課

る場合がある。では、後者の場合、官能検査の研究を行えば問題は解決するかといえが、必ずしもそのようになる保証はない。そこに後者が官能検査に集中をしない理由があるようにも思われる。すなわち、官能検査においてはマクロ的な傾向を問題にはするが、個別的な検査の信頼性についての研究は行われているとはいえない。工程などで官能検査を行う場合は、検査結果にかなりの信頼性が要求される。そのため、なんらかの手段を使って信頼性の高い方法を探求しようと努力が払われる。しかし、結果としては、そのような努力はむくわれているとはいえない。

2. 計測システムの設計

官能検査に限らず計測一般の傾向として、対象とする量を計測することだけにこだわることが多い。計測器さえ良ければうまく計測ができると考えがちなもの、これに由来する。計測器がよければというのは物事の半分に過ぎないことを忘れている。計測の問題を検討する場合に、まず初めに考えるべきことはなんのために計測を行うかという目的である。目的によってそのあとのすべてが左右される。目的を定めることによって、なにを測るべきかという目的特性が決定される。通常はこの関係は逆であって、たとえば画像の鮮明度を測るにはどうしたらよいかと考える。画像の鮮明度という一般的な概念があると思うことが誤りである。目的と特性を定めるのは、企業が市場を規定し、いかなる製品を開発するかということに関係する。これが定まっただけのちこのような特性をいかにして定量化するかというのが設計の問題である。製品を作ってからいかに測るか考えたのでは手遅れである。設計段階において計測方法の開発が考えられねばならない。

しかし、ここで1つの問題に当面する。よい計測方法は、実際に製品を作って市場に流したのち、よい製品を良いと判定し、悪い製品を悪いと判定するものでなければならないからである。すなわち、設計段階では計測方法の良否は不明である。そこで、評価のための研究が必要となる。通常、評価というのは最終的な判断と思われているが、実は評価の研究は設計段階において必要なのである³⁾。

以上のような研究の過程において製造技術の確定が行われる。この際、上で定められた計測方法が活用されることはいうまでもない。しかし、このような計測方法は一般には規模が大きく、複雑であり、それを工程に持込むことは適切であるとはいえない。生産準備段階において、最適な製造条件が設定

されれば、工程においてはできるだけ簡単な代用特性の計測ですませるべきであり、そのような簡単な計測方法の開発を行うべきである。すなわち、工程に適用可能な計測特性の発見と計測方法の検討が行われなければならない。

以上の過程をオフライン計測と呼び、工程において行われる計測とその管理がオンライン計測である。従来、オフライン計測で解決すべき問題をオンライン計測に持込んだために、問題を複雑にするか解決不可能にしていた場合が多い。工程能力が不足するときのやむをえない手段が検査であるが、検査即計測という考え方をとると、計測の本当の機能は発揮されないままに終わってしまう³⁾。これらの考え方を感覚計測の問題にあてはめれば、問題の所在は歴然とすることが理解されよう。新しい計測システムの設計を必要とする理由がここにある。

3. 品種と品質

一般に人間は好きとか嫌いとかいう好みを良いとか悪いとかいう言葉で表現する。写真にも硬調と軟調があって、硬めを好む人と軟かめを好む人がいる。印画紙メーカーは両方の印画紙を用意しているが、どっちが良い印画紙かということはいわない。すなわち、好きとか嫌いというのと、良いとか悪いとかいうのは別の次元のことであり、前者は品種問題で後者が品質問題である⁴⁾。品種問題はそのような品種をどれほど好む人がいるかという市場の大きさの問題であり、品質問題は品質がよいことでどれほどの市場占有率を持つとか、使用者にどれほど損失を与えないかという問題である。感覚計測は品種問題と品質問題の両方に関わっているから、特にこの区別を明確にしておくことが必要である。なぜかといえば、品種と品質は別なものであってもあるときにはこの2つが共通化してしまうことがあるからである。それは人間が嗜好を良否と判定するというだけでなく、ある1つの特性を取上げると品種の問題が品質の問題となるからである。

これはつぎのような問題と関係してくる。一般の計測においても同じであるが、感覚計測の場合に特に問題となるのは、平均値の傾向とばらつきの傾向を分離して考えるべきということである。たとえば、高い得点の製品であっても、得点が集中する場合とばらつく場合がある。たとえば、図1はプラスチックのしば加工の外観評価を行ったものである。滑らか—粗い(C_1)と派手—地味(C_2)という2つの評価尺度について組立メーカー(D_1)と成形加工メーカー(D_2)の判断の比率を示したものの例である。

う単純な判断のさせ方に問題があるのであり、人間はメッキ面のつやについていくつかの判断項目を持っている可能性があり、しかもそのような判断の複雑さは女性の方にあるということかも知れない⁶⁾。品種と品質を分けるとき、最終的にはこうしたことが問題になると思う。

4. 刃物の切れ味の例

庖丁の切れ味の評価のむずかしさは、1つは切れ味の定量化がむずかしいということにあるが、商品としてみた場合、初期切れ味と切れ味の保持（永切れ）の2つの面で考えねばならないことにある。再刃付けをした場合には初期切れ味とは無関係な切れ味となるし、永切れのするものは再刃付けがむずかしい。結局、日常的に研いで使用すれば、それほど高級なものを必要としないが、このような平凡な結論では、切れ味に話題を求めようとする人は納得してくれない。日本人は刃物の切れ味に対して、味という言葉からわかるように精神主義を持込みたがる。刃物のメーカーもこのような議論に振回されている。かつて、全国の地方公設試験研究機関における刃物に関する依頼試験を調べたところ、大部分が硬さ試験であった。硬ければ切れるという判断が前提にあったのであろう。切れ味試験機というのも使われたが、人間の感覚と合わないということで次第にすたれた。

計量研究所で行われた切れ味の研究では、切れ味の言語的表現、切れ味の感覚、切れ味試験、刃物の特性について検討し、切れ味感覚の二元性を明らかにした。図3に示す切れ味試験機が作られた。最終的には図4の刃角測定装置が試作され、刃角の測定で工程を管理すれば、切れ味は保証されることが明らかになった。もちろん、切れ味の劣化には強度的要因が関係する⁷⁾。

切れ味の研究を行っている関係から、1本あるいは

図3 計量研型切れ味試験機

図1 プラスチック試験表面の形容語対 (C) と判定者の所属 (D) による判定の相違

C_1 については D_1 と D_2 の差はない。 C_2 については D_1 が派手な方に寄っており、 D_2 が地味な方へ寄っている。さらに、 D_2 の方が曲線の傾向から判断して、判断の分布の幅が広い。この実験は蛍光灯の下で行ったものであるが、自然光では恐らく判断が変わるであろう。たとえばこのプラスチック部品がカメラの外装であれば組立メーカは、蛍光灯の下で好ましい外観を有することを考えるはずだが、商品の性質より、自然光での良さも問題となるかもしれない。その場合、このように相反する2つの言葉をいかに調整するかは1つの課題となるであろう⁵⁾。

図2はメッキ面のつやの判定を正反射光、拡散

■ I 非常につやがない ■ II つやがない ■ III 少しつやがない | | IV 同じ

■ V 少しつやがある ■ VI つやがある ■ VII 非常につやがある

図2 メッキ面のつやの判定の累積百分率

光、反射像の3種で行ったものをまとめたものである。男性と女性各14人ごとの判断の比率である。横軸は正反射光沢の強い順に試料を並べてある。男性と女性では男性の判断の均一性が高い。また、全体としていうと、同一試料に対して、つやのある一なしでまったく逆の判断をしている例がみられる。これらのことから、男性の信頼性が高いと一概にいうことはできないであろう。恐らく、つやの有無とい

図4 刃角測定装置

は2本の試作品の庖丁の切れ味を試験してほしいといわれることがある。このような場合、初期切れ味だけでいえば非常に切れないものは少ない。ある単発の製品は初期的にはそれほど悪いということはない。しかしこれは工業的にはよい庖丁を作るということとはまったく別なことである。日本刀を作るような感覚では工業製品は作れないのではなかろうか。感覚計測を行えばなにもかもわかるという魔術的なものを期待する傾向がある。もし本当に良い刃物を作ろうと思ったら、もっと別の角度からの研究が必要であろう。それには材質、加工方法、評価方法などを総合した研究を必要とする。刃物工業は規模が小さいため、ほとんどこのような研究を行うことができないのが現状である。

5. 鋏の切れ味調査の試み

本稿を書くにあたって、鋏の切れ味という従来経験のなかった分野についての小実験を試みてみた。初めに手掛けようとする場合には、既存のものから

出発せざるを得ないが、幸い、鋏のデザインを変えて良い鋏を作ろうとしているメーカーの方の協力を得ることができた。感覚計測のとりかかりはどこにあるかがわかると思う。

まず、既存の使用中の裁縫鋏を A_0 とする。これに対して、デザインの異なる A_1, A_2, A_3 の裁縫鋏と市販の簡単な裁縫鋏 A_4 とを、それぞれ2本ずつ用意して、これを A_1', A_2' とした。 A_0 を基準にして試料 A の比較を行う。切れ味の判断を行う場合、なにも切らずに鋏をからで動かすだけの場合を B_1 、綿布を4枚折り重ねて切る場合を B_2 、コンピュータの出力に使う紙を4枚折り重ねて切る場合を B_3 とする。切った時の感じを表わす言葉の対として、重い—軽い (C_1)、滑らか—粗い (C_2)、固い—ゆるい (C_3)、食込みやすい—食込みにくい (C_4) を選んだ。軽い、滑らか、ゆるい、食込みやすいほど切れ味はよいと考えた。尺度は5段階である。これらの言葉の選択にあたっては、庖丁の切れ味の2元性などを参考にした。判定者 D は今回は5人であった。 A_0 と A を比較する場合、何回切ってもよいが、初めに A を試し、後で A_0 を試して A について判断する場合を E_1 、 A を後に試すのを E_2 とした。比較表の一部を示せば表3のようである。

これらの実験は A について繰返しのある5元配置の実験計画である。ただし、データは評点という計数値である。たとえば、 $A_1 A_1' B_1 C_1 D_1 E_1$ の評点は3であった。これを図5に示すような表示に置

図5 切れ味判断のための尺度

表3 鋏の切れ味を A_0 を基準として判断するためのデータシート

D_1 (人)															
A_1		言	葉	E_1 (前)					E_2 (後)					言	葉
B_1 (から) ⋮	A_1'	C_1 : 重い		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	軽い
		C_2 : 滑らか		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	粗い
		C_3 : 固い													ゆるい
		C_4 : 食込みやすい													食込みにくい
	A_2'	C_1 : 重い													軽い
⋮	⋮	⋮													

換える。この表示の尺度を ω で表わす。評点3は $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$ で11 100となる。悪い方が ω_1 で良い方が ω_5 になるように並べる。このように変換したデータについて分散分析を行うのが田口により開発された精密累積法である⁹⁾。

分散分析の計算過程は省略するが、表4に示すような分散分析表が得られる。表中のAから e_5 までは評点を通常の分散分析をしたのと同じであると考えればよい。すなわち、各要因の平均値の効果の大きさが示されているとみる。 ω 以後に精密累積法の特徴があり、 ω と他の要因との交互作用が大きいということは、それぞれの要因の水準ごとの判断の分布に相違のあることを示している。すなわちデータは平均値の効果とばらつきの効果に分離して示されたことになる。平均値の効果はそれぞれの品物についての単なる結果に過ぎないが、 ω に関わる効果の中には感覚計測特有の問題の含まれている可能性がある。

以下の図は精密累積法の判断の比率を残存率として表わしたものである。たとえば図6(a)のAについては、 A_2 の残存率は高いので、これらの試料の中では一番良く切れることになるが、 A_3 は残存率が低いから切れないことを示す。 A_3 の曲線が少し寝ているので、ばらつきの幅の少し大きいことも示している。なにを切るかBにはかなりの差が認められる。からで動かした B_1 が一番切れる感じが有り、布を切った B_2 が一番切れない感じがする。紙を切った B_3 は布よりも切れる感じが有り、しかも判断の差が小さい。Cの言語表現についてはごくわずかの差は認められるが、ほとんど差がないといってよい。5人の判定者Dの間の差も、判断の順序Eの差もごくわずかしか認められない。

図7は $A \times B \times D \times \omega$ の組合せに対する効果であるが、から切り B_1 の場合には A_1, A_2, A_4 は切れる感じがする。紙を切った B_3 の場合、 A_1 の切れ味が少し落ちるが、全体としては B_1 と似た傾向にある。しかし、布を切った B_2 の場合には切れ味は大きく変わり、 A_2 がよく切れて、 A_1 切れ味がひどく悪い。判断のばらつきは B_2 の場合に比較的小さい。

これらの結果から明らかなように、切れ味感はないを切るかによって変化する。いずれが正しいということにはならないが、鉄としてはどのように切っても切れ味感がよいということになれば A_2 が良くて、 A_1, A_3 などは悪いことになる。また、紙を切るとすれば、いずれの鉄でもそれほど違いがないことになる。布を切った場合には鉄による差が生じや

表4 鉄の切れ味の精密累積法の分散分析表

要 因	f	S	V
A (鉄)	3	15.48	5.16
e_1 (1次誤差)	4	5.48	1.37
B (判断)	2	47.73	23.87
$A \times B$	6	12.81	2.14
e_2 (2次誤差)	8	7.32	0.92
C (言葉)	3	1.72	0.57
$A \times C$	9	3.95	0.43
$B \times C$	6	2.03	0.34
$A \times B \times C$	18	3.40	0.19
e_3 (3次誤差)	36	3.76	0.10
D (人)	4	3.31	0.83
$A \times D$	12	7.08	0.59
$C \times D$	12	1.87	0.16
$A \times B \times D$	24	16.76	0.70
$A \times C \times D$	36	3.95	0.11
$B \times C \times D$	24	9.49	0.40
e_4 (4次誤差)	272	27.18	0.10
E (前後)	1	0.24	0.24
$A \times E$	3	1.09	0.36
$B \times E$	2	0.26	0.13
$C \times E$	3	1.01	0.34
$D \times E$	4	2.02	0.50
e_5 (5次誤差)	467	57.38	0.12
ω (オメガ)	4	607.53	151.88
$A \times \omega$	12	11.66	0.97
e_6 (6次誤差)	16	7.57	0.47
$B \times \omega$	8	31.04	3.88
$A \times B \times \omega$	24	15.18	0.63
e_7 (7次誤差)	32	8.10	0.25
$C \times \omega$	12	3.86	0.32
$A \times C \times \omega$	36	3.62	0.10
$B \times C \times \omega$	24	1.31	0.05
$A \times B \times C \times \omega$	72	4.49	0.06
$D \times \omega$	16	5.13	0.32
$A \times D \times \omega$	48	8.79	0.18
$C \times D \times \omega$	48	3.91	0.08
$A \times B \times D \times \omega$	96	31.38	0.33
$A \times C \times D \times \omega$	144	9.17	0.06
$B \times C \times D \times \omega$	96	9.82	0.10
$E \times \omega$	4	0.88	0.22
$A \times E \times \omega$	12	1.66	0.14
$B \times E \times \omega$	8	1.49	0.19
$C \times E \times \omega$	12	1.07	0.09
$D \times E \times \omega$	16	2.09	0.13
e_8 (8次誤差)	3 100	189.46	0.06
T (合計)	3 839	933.67	

すい。このように考えると、良い鉄を選ぶ場合には種々のものを切ってみて、切れ味感が変わらないものがよいことになるが、切れ味の相違をみようとするならば、布を切ってみるとよいということになる。

切れ味感の差を検出するのに、布を使った方がよいことがわかったが、これをもう少し別な観点から

図6 主効果 A, B, C, D, E の判断尺度ごとの残存率

図7 主効果 A, 判断 B による人ごとの評点の相違
(---: D1, -×-: D2, -△-: D3,
-□-: D4, -▽-: D5)

検討してみる。表4においては精密累積法の分散分析を行ったが、普通の累積法の分散分析を行う。累積法は切れる切れないなどの順序づけのデータの解析の手法であるが、精密累積法のように、ばらつきの相違までは解析しない。そこで、切る方法を変えた B ごとについて、主効果 A 間の差をどのように検出しているかを調べてみる。C 以下のすべての効果は

結局は誤差項にすぎないから、A を因子とした 1 元配置の異積法の分散分析を行う。計算手順は省略するが、表5のようになった。これより

$$\eta = \sigma_A^2 / \sigma_e^2$$

を求める。 σ_A^2 は主効果の差であり、 σ_e^2 は誤差分散である。これは B ごとの切れ味の検出力を表わしている。実際は

表5 鉄の切れ味判断ごとの累積法の分散分析表

要 因	f	B_1 (から)		B_2 (布)		B_3 (紙)		$E(V)$
		S	V	S	V	S	V	
A (鉄)	28	179.14	6.40	194.72	6.95	120.88	4.32	$\sigma_a^2 + 40 \sigma_d^2$
e (誤差)	1 248	1 100.86	0.88	1 085.28	0.87	1 159.12	0.93	σ_e^2
T (合計)	1 276	1 280.00		1 280.00		1 280.00		
η		0.157		0.175		0.091		
$10 \log \eta$		-8.05dB		-7.58dB		-10.40dB		

$$\eta = \frac{1/40(V_A - V_e)}{V_e}$$

として求め、さらに $10 \log \eta$ としてデシベル値に変換して比換して比較する⁹⁾。 V_A は鉄8本の分散で V_e は誤差分散である。この結果からわかるように、布を切ったときの切れ味感の差の検出力が高いことがわかる。紙の場合の検出力が低い。 η を SN 比と呼び、測定、試験の評価のための尺度として使われている。

以上の調査の結果より、鉄の切れ味を評価する場合、なにを切るかということがきわめて重要であり、単なるデザインの相違では切れ味感それほど変化しないことがわかった。これを第一の手掛りとして切れ味の研究を進めることが必要であろう。

6. 今後の展望

感覚計測の重要性は機械系の製品を作っている企業で、今後一層増えていく可能性が多い。なぜならば、製品の多様化が複雑な品質評価を要求している

からであり、たとえ機械的な計測が可能であっても、最終品質は人間の感覚的な判断にゆだねられる場合が多いからである。このような場合、感覚量の計測としては従来の官能検査の手法が力を発揮すると思うが、工程計測、生産技術などと結び付いた場合、もっと専門技術と関連した研究が必要となるであろう。この際、本稿に述べたようなことが参考となるのではないかと思う。

参考文献

- 1) 矢野 宏; 感覚計測の動向, 計測と制御, **23**, 3 (1984)
- 2) 矢野 宏; 検査・計測における諸問題と人間工学, 日本人間工学会第25回大会論文集 (1984)
- 3) 矢野 宏; 計測技術と計測管理技術, 精密機械, **49**, 3 (1983)
- 4) 田口玄一ほか; 経営者・管理者のための計測管理, 日本規格協会 (1982)
- 5) 矢野 宏; 表面特性と官能検査, 第7回人間工学基礎技法講習会テキスト, 日本人間工学会 (1983)
- 6) 矢野 宏; 計測管理工学入門, 工業調査会 (1984)
- 7) 鴨下隆志ほか; 厨房用刃物の切れ味試験, 人間工学, **15**, 6 (1979)
- 8) 田口玄一; 実験計画法(下), 丸善 (1977)

< 投稿歓迎!! >

繊維工学編集委員会では、下記のような種類の原稿の投稿を歓迎いたします。学問的、技術的知見、経験などで、公開できるものはできるだけ多く「繊維工学」誌上にご発表いただき、会員の相互啓発、ひいては我国の学界、産業界の発展に寄与していただきたいと思います。

総 説: 提案, 意見, 批評等の論説

展 望: 研究, 技術, 経済などの総合的な記事

技術報告: 工業的に役立ち、技術的に価値を有する実
際の試験, 研究, 調査等

最近の技術: 繊維工業分野に直接あるいは間接に関係する
最新の内外の技術, 重要トピックス等の
平易な解説記事

研究解説: 研究論文の平易な解説記事

技術解説: 工業技術の解説記事で工夫, 考案, 改良等
を含む

講 義: 系統的でまとまった知識を与える記事

資 料: 調査, 解説等の技術的に価値ある資料で、
他のどの種類にも該当しないもの

製品紹介: 技術的に優れた製品の紹介

見 学 記: 学校, 研究所, 会社等の見学記録

座 談 会: 対談, てい談, 座談会の記事

委 員 会 報 告:

研究会報告: 委員会, 研究会等に関する報告記事
委員会だより: よび記録

研究会だより等:

その他「技術相談室」, 「会員の声」, 「随想」, 「書評」,
「サフィックス」, 「シグマ」などがある。

◎投稿後の原稿の取扱い

1. 原稿の採否, 分類等については繊維工学編集委員会で決定します (依頼あるいは投稿された原稿は専門分野の査読委員が査読し訂正を求めるとか却下されることがありますので予めご承知おき下さい)。
2. 掲載された原稿については、規定の原稿料をお支払いします。
3. 校正は原則として初校ゲラにて1回お願いします。
4. 抜刷は30部に限り進呈いたします。
5. 投稿にあたっては本会「投稿規定」をご参照の上、所定の原稿用紙(希望により送付)をご使用下さい。
6. 版權は本会に属します。