

© ISIJ 1982

フェイス法による画像組織の定量解析に関する一提案 技術報告

鳥阪泰憲*・容貝昌幸*²・島村昭治*・宮川松男*³

A Proposal of Quantitative Analysis of Image Structures by Means of the Face Method

Yasunori TORISAKA, Masayuki YOKAI, Shoji SHIMAMURA, and Matsuo MIYAGAWA

Synopsis:

Studies on quantitative analysis of image structures were performed; the analysis was indispensable to computer-aided-material-designing and fracture analysis.

After examining various quantitative methods, we used the improved face method which transformed image structures to "the human face" and obtained satisfactory results.

The procedure is as follows:

- (1) Define "the face" in case of no image structures.
- (2) Extract information from image structures.
- (3) Obtain "the face" corresponding to image structures by deforming "the face" of (1) on the basis of the information of (2).

1. 緒 言

金属材料の強度を向上させる機構として、ひずみ時効硬化、時効析出硬化、固溶体硬化及び加工硬化など種々あるが、これらはすべて金属組織によつて左右されるもので、従来その測定においては、後者の金属組織から前者の金属学的機構を解明するという定性的な議論がもつぱらで、定量的な測定はほとんど実施されていない。

これはフラクトグラフィにおいても同様である。

すなわち、従来のフラクトグラフィはフラクトグラフから破壊機構を解明するという定性解析がその主流であったが、定性フラクトグラフィがほぼ体系化された今日種々の破壊要因をフラクトグラフから推定しようという定量解析にその方向が進みつつある²⁾。

その際、これらに共通する最も大きな問題点は画像組織をいかに認識するかということである。その場合、普通パターン認識論の基礎理論の一つと考えられている多変量解析がよく使われるが、本稿ではこのような数式的な取り扱いとはまるで違つた手法—すなわち微小変化の検出及び実感(訴求力)という2点では多変量解析をはるかに上まわるフェイス法³⁾—を画像組織に適用することにした。

2. 定量化の手法

画像組織の定量化として普通よく使われる手法は多変量解析である。

すなわち、画像組織から得られる独立変数 x_j (例えば、デンドライト組織の場合、幹や枝などの長さ、幅及び間隔などが相当する) とそれらの発生要因となる従属変数 y_i (例えば、デンドライト組織の場合、凝固速度、固液界面における温度勾配及び添加元素の量などが相当する) の間に成立する回帰式、 $y_i = f(x_j)$ の作成を目的とするもので、これは下記のような理由から非常にむずかしいものとなる。

その第1は従属変数と独立変数との対応関係の分類である。

すなわち、一つの従属変数がすべての独立変数の相互作用を受けるとは限らず、個々の従属変数がどのような独立変数と対応するのか、その分類を行わねばならない。

第2はパラメータ数の整理である。

すなわち、現在の回帰分析の手法では、使いうるパラメータの数が非常に少なく、10から50、100となった場合はモンテカルロ法などの特殊な手法を必要とする⁴⁾。

昭和 56 年 9 月 2 日 受付 (Received Sept. 2, 1981)

* 工業技術院機械技術研究所 工博 (The Mechanical Engineering Laboratory, Agency of Industrial Science and Technology, 1-2 Namiki Sakura-mura Niihari-gun 305)

*² 工業技術院機械技術研究所 (The Mechanical Engineering Laboratory, Agency of Industrial Science and Technology)

*³ 東京大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo)

パラメータを少なくするために線形回帰式を非線形回帰式に変えてもよいが、この場合は回帰式の想定を必要とし、この想定のためには独立変数と従属変数との間における物理的意味を知る必要がある。

また、たとえ上記2点が解決されたとしても、あくまでこれは数式であるから微小変化の検出及び実感（訴求力）に非常に乏しいものとなる⁹⁾。このことは画像組織の定量化にとつて最大の欠点である。

故に、著者らは、この定量化に MIT の CHERNOFF によつて提唱⁹⁾され、現在では景気動向、社会指標、国家財政と予算及び異常分析などに使用されているフェイス法を採用し、画像組織を“人間の顔”に変換することにした。なぜなら、「人間の顔に対する人間のパターン認識能力は抜群で、どのような微妙な変化をも逃さないことはコンピュータも及ばない。これは乳児、幼児期から養われ体得されてきた人間の能力であつて、これを用

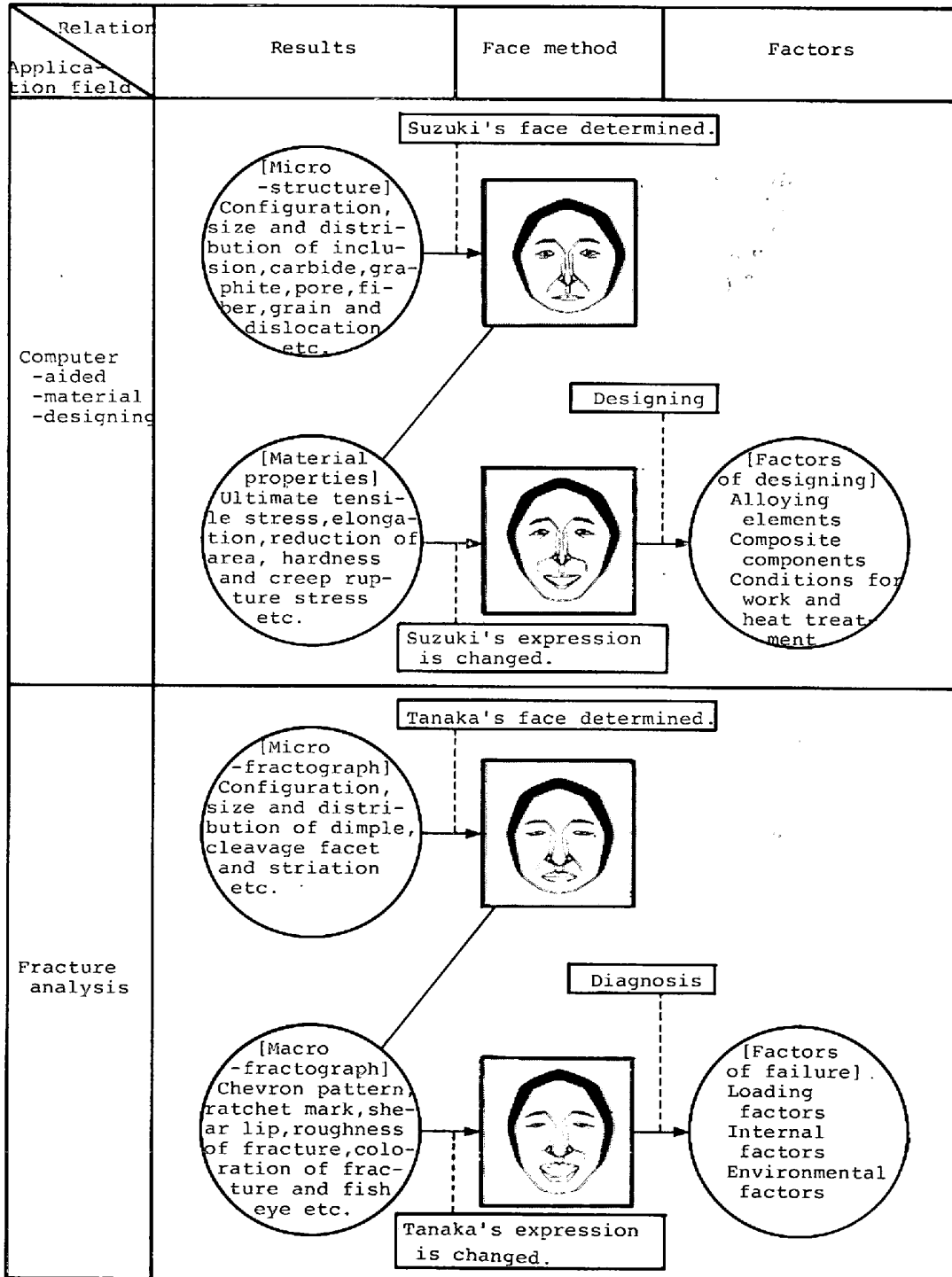


Fig. 1. Quantitative analysis of computer-aided-material-designing and fracture by means of the face method.

いない法はないだろう。」というのがフェイス法そのものの発想³⁾であるため、実感を要求する画像組織の定量化には最適の手法となるからである。

すなわち、Fig. 1 に示すように、画像からマイクロ組織として介在物、炭化物、黒鉛（破面解析ではマイクロフラクトグラフとしてディンプル、へき開ファセット、ストライエーション）などの情報を抽出した後、これらの情報から後述するように例えば、“鈴木”なる顔を作成し、引張強さ、伸び、絞りなどの材料特性値（破面解析では矢筈模様、ラチェットマーク、シェアリップなどのマクロフラクトグラフ）から“鈴木”なる顔の表情を変化させることによつて、得られた顔を設計要因（破面解析では破壊の要因）と対応させようというもので、ここでマイクロ組織などの“結果”は独立変数となり、設計及び破壊などの“要因”は従属変数となつて、でき上がった顔のイメージに相当することになる。

3. フェイス法のフローチャート

従来のフェイス法は Fig. 2³⁾ に示すように、独立変数 $x_1 \sim x_j$ を人間の顔の目、鼻、口、眉、ひとみなどの位置（座標）、長さ、傾きなどに置き換えることによつてでき上がった人間の顔のイメージを従属変数にしようというものであるが、これではすべての独立変数の値が決まらなければ顔は得られない。適用分野によつてはこれでよいが、画像組織の定量化にとつてはこれは不向きである。

そこで、著者らは以下に述べる画像組織フェイス変換プログラムを作成した。

これは人間の顔をあらかじめ定義しておいて、画像組

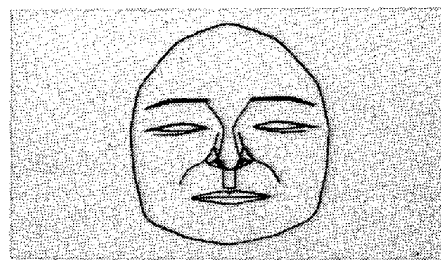


Photo. 1. “The face” defined in case of no image structures.

織から抽出されたデータをもとに、この顔を引張ることによつて変形した顔を、画像組織と対応させようというもので、変形の解析には有限要素法を使用した。

手順は次のとおりである。

3.1 基準となるフェイスの定義

画像組織のない時の、すなわちすべての独立変数の値が零である時の顔を Photo. 1 に示すように定義する（以下、基準フェイスと呼ぶ）。これは別に決まつた定義方法があるわけではなく、適用分野によつてまちまちである。

3.2 画像組織からの情報抽出

個々の粒子の面積、重心座標、原点から重心までの距離、ペリメータ（周囲長さ）及び形状係数を求める。

ここで形状係数 F は次式で示されるものである。

$$F = A/L^2$$

A : 粒子の面積

L : ペリメータ

F は円の場合、 $F = \pi r^2 / (2\pi r)^2$ で、0.0796 となり、あらゆる形状の中で最大値を有する。

すなわち、 $0 < F \leq 0.0796$ である。

3.3 基準フェイスに対する有限要素法の適用

定義した基準フェイスを Fig. 3 に示すように要素分割し、有限要素法を適用する。境界条件は適用分野によつて種々異なるが、本稿では粒子を中心に扱っているため、以下のように決定した。

すなわち、各節点に働く荷重値は、 x 方向に粒子のペリメータを、 y 方向に粒子の面積を代表させ、各節点への個々の粒子のふるいわけは、Table 1 に示すように形状係数によつて決定した。

後述するが、この決定がフェイス法における最大のキーポイントとなるもので、設計要因または破壊要因と対応した特徴ある顔が得られるか否かは、この組み合わせいかによる。この組み合わせは適用分野によつて当然異なってくるものであるが、本稿では一応設計要因も破壊要因も同じ組み合わせとし、形状係数が大から小になるに従つて、目、鼻、口、輪郭という順に対応させた。

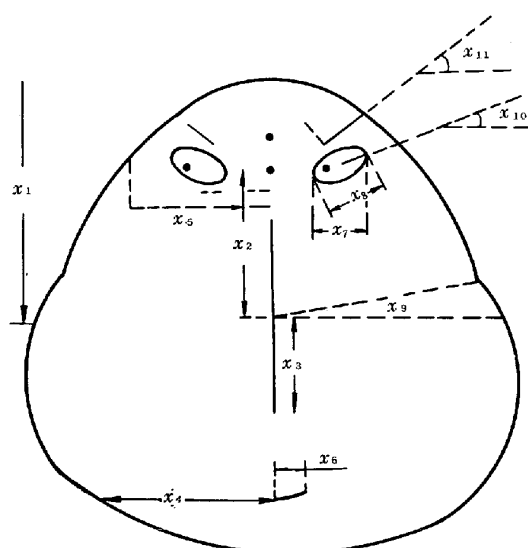


Fig. 2. Traditional face method³⁾.

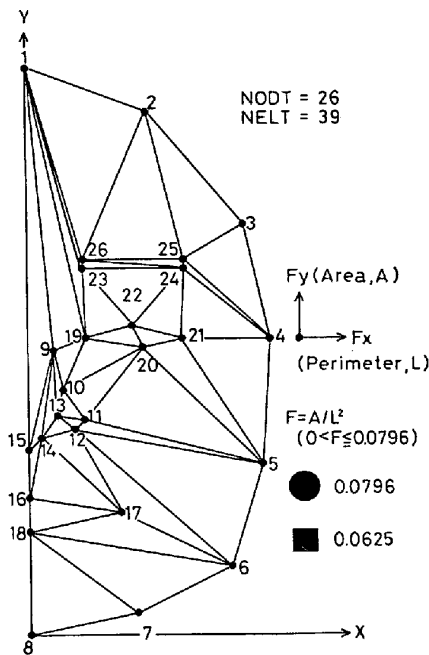


Fig. 3. Mesh division of Photo. 1.

Table 1. Determination of boundary conditions.

No.	F (×100)	No.	F (×100)
1	—	14	5.0~5.5
2	0.0~0.5	15	—
3	—	16	—
4	0.5~1.0	17	5.5~6.0
5	1.0~1.5	18	—
6	1.5~2.0	19	6.0~6.5
7	—	20	6.5~7.0
8	—	21	7.0~7.5
9	3.0~3.5	22	7.5~7.96
10	—	23	—
11	3.5~4.0	24	2.0~2.5
12	4.0~4.5	25	2.5~3.0
13	4.5~5.0	26	—

なお、対象モデルは平面ひずみを想定し、要素数及び節点数は使用コンピュータの能力からそれぞれ 39 及び 26 とした。

また、弾性率及びポアソン比は対象とする材料のそれらの値に 10^{-3} 及び 1 を乗じた値として入力することにした。

3.4 各節点のプロット

変位後 (以下この変位量をハードパラメータと呼び、H.P. と略記する) の各節点をプロットすることにより、画像組織と一対一に対応した“人間の顔”が得られることになる。

ここで、著者らは髪の毛の総数を全粒子数に、また黒目の大きさを測定対象画面 (以下、ウィンドエリアと呼ぶ) に占める全粒子面積の率に対応させた。

3.5 表情の変化

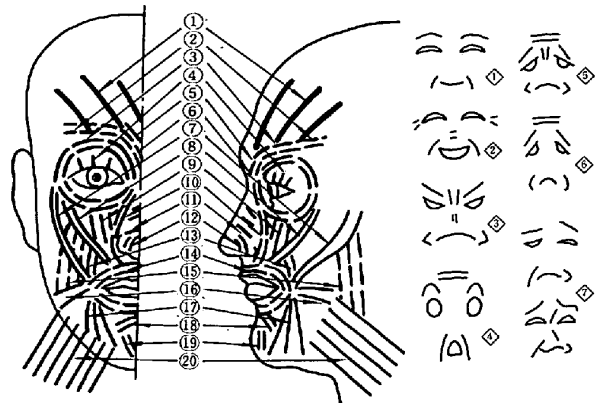
著者らの画像組織に対するフェイス変換は先に述べたように、画像組織のマイクロ情報から例えば“鈴木”なる 1 個の顔を作成した後、マクロ情報から“鈴木”の表情を種々変化させることを骨子としているため、これに対するパラメータが必要となる。そこで、次に述べる理由から、4 個のパラメータを用いて種々の表情を得ることにした。

すなわち、人間は様々な表情を表すが、これはすべて筋肉の動きによるものである。Fig. 4⁶⁾ は人間の表情筋及び表情型を示したものであるが、これにより人間は 20 の表情筋を持ち、これらを自由に動かすことによつて、種々の表情を表すことがわかる。とりわけ、①前頭筋、②皺眉筋、⑦大頬骨筋及び⑬笑筋は特に重要な筋肉である。

よつて、著者らは次のような仮定を置くことにした。

(1) 表情はあくまで左右対称のみとする (Fig. 4 で示した ⑩ のねたみ、からかい、うたがいがなどの型は除外する)。すなわち、

- ① 冷静型
- ② にっこり型
- ③ 笑い型 (口を閉じれば②と同じ)
- ④ 怒り型
- ⑤ 驚き型
- ⑥ 憂い型



- ◆ SMILING TYPE (⑦ + ⑬ + ③ + ⑨ + ⑬)
- ◆ LAUGHING TYPE ((⑬ + ⑦) + ⑧ + ③ + ⑪ + ⑬)
- ◆ ANGRY TYPE ((② + ⑬ + ⑬) + ④ + ⑭ + ⑮)
- ◆ SURPRISING TYPE ((① + ⑰ + ⑱) + ④ + ⑯ + ⑲ + ⑳)
- ◆ GRIEVING TYPE ((① + ②) + ⑭ + ④)
- ◆ SORROWFUL TYPE ((① + ② + ③) + ⑯ + ⑰ + ⑱)
- ◆ JEALOUS TYPE ((① + ② + ③ + ④ + ⑧ + ⑨ + ⑯ + ⑰ + ⑱ + ⑲ + ⑳ + ㉑ + ㉒))

Fig. 4. Relation between various expressional muscles and types⁶⁾.

⑦ 泣き型 (口を閉じれば⑥と同じ)

⑧ 戸惑い型

の8種類を人間の表情の基本型とする。

(2) 表情筋は20種類あるが、先に述べた理由からこれを4種類に限定する。すなわち、目の傾き (Fig. 3の節点番号19, 21を結ぶ線を傾かせる)、口の傾き (Fig. 3の節点番号17をupまたはdownさせる)、上唇の位置 (Fig. 3の節点番号16をupさせる)、及び下唇の位置 (Fig. 3の節点番号18をdownさせる)である (以下この4種類のパラメータをソフトパラメータと呼び、S.P.と略記する)。

以上の仮定の妥当性を確認するために、画像組織とは無関係にH.P.及びS.P.を適当に入力することにより、コンピュータに、種々の表情を有する人間の顔を描かせることにした。結果をPhoto. 2に示す。これらの写真から4個のS.P.のみですべての人間の表情 (非対称は除外する) が大体カバーできるものと思われる。

なお、写真中の冷静型はS.P.がすべて零の時の表情である。

4. 結 果

種々の画像組織に、著者らの画像組織フェイス変換プ

EACH PERSON EXPRESSION	MR. A	MR. B	MR. C	MR. D	MR. E	MR. F
COOL TYPE						
SMILING TYPE						
LAUGHING TYPE						
ANGRY TYPE						
SURPRISING TYPE						
GRIEVING TYPE						
CRYING TYPE						
BEWILDERING TYPE						

Photo. 2. Various expressional types drawn by computer.

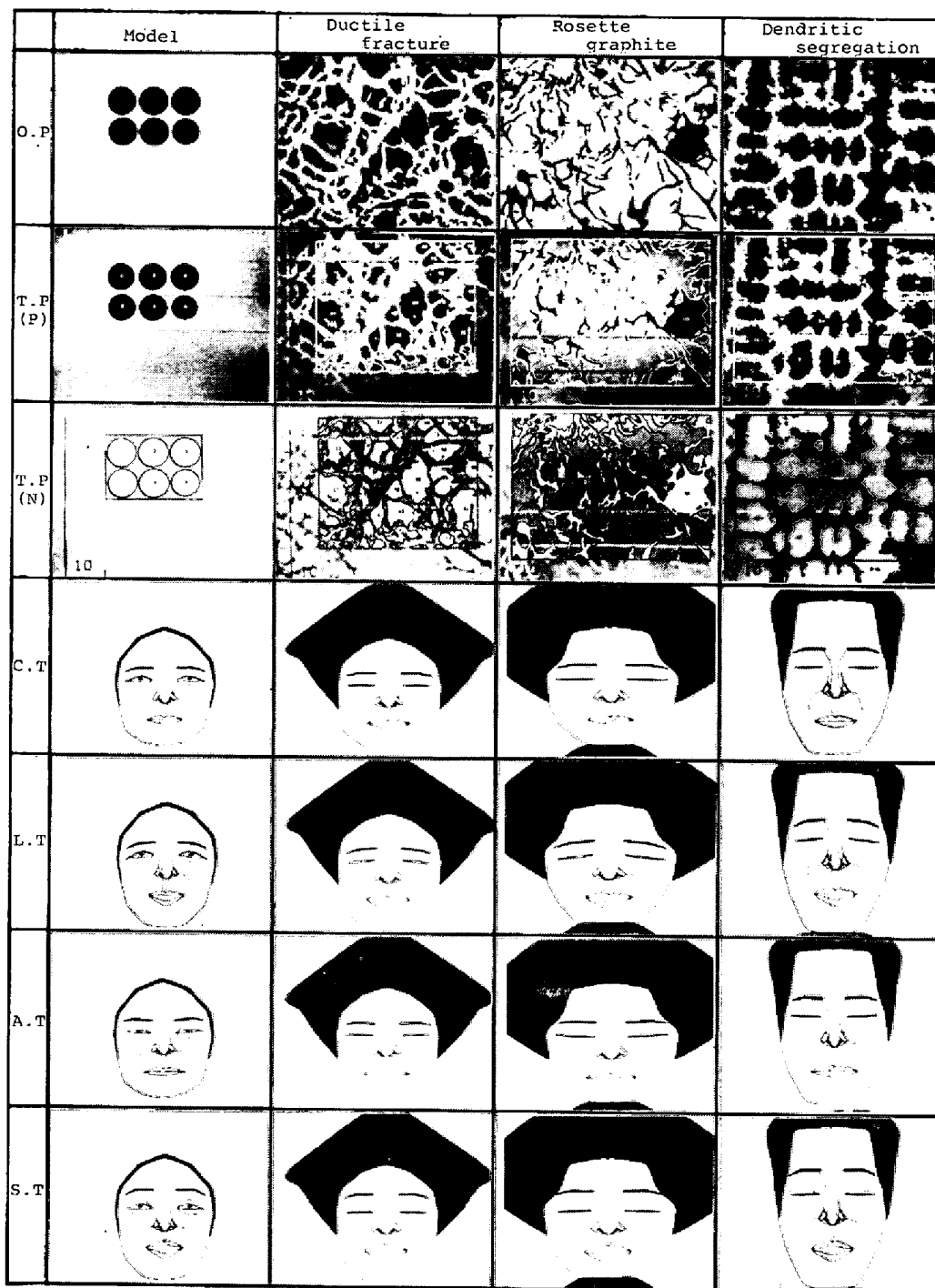


Photo. 3. "The face" corresponded with various image structures by means of our face method.

プログラムを適用した結果を Photo. 3 に示す。第1列はモデル画像を、第2列は0.3%の炭素鋼の延性破面を、第3列はバラ状黒鉛を、第4列は25%Cr-20%Ni鋼のデンドライト組織をそれぞれフェイス変換したもので、第1行は画像組織を、第2行及び第3行は画像組織からの情報抽出を行った結果を、第4行以下はコンピュータの描いたもので、画像組織と1対1に対応した“人間の顔”の結果をそれぞれ示したものである。こ

で、第4行は冷静型(S.P.=0)を、第5行以下は第1行に対応したマクロ情報がなかったために著者らが適当に4個のS.P.を変化させた結果をそれぞれ示したもので、順に笑い型、怒り型、驚き型になつているように思われる。

なお、第2行中、長方形で描かれている枠はウィンドエリアを、粒子中に描かれている番号は粒子の重心位置及び粒子番号を示しており、これは各情報の保存のため

に、ダッシュプリンタに出力された個々の粒子番号と対応したものとなっている。

また、左下の 10 の数字は画像の倍率因子を与えるためのもので、単位は mm である。

以上の結果から、個々の画像組織に著者らのフェイス変換を適用することによつて、これらと一義的に対応した特徴ある“人間の顔”が得られることがわかる。

5. 考 察

フェイス法は多変量解析同様、一種のデータ整理方法であつて、従属変数と独立変数の数が多く、かつ、それらの間に成立する関係が漠然としている場合、初めてこのフェイス法がその威力を発揮するのである。

著者らはこの手法を画像組織の定量化に用いようとするものであつて、多変量解析の代替に使用しようというものではなく、補完的に使用することを基本としている。

フェイス法において最も困難な点は、変数割り当て、すなわちどのような変数を目や口に対応させるかということが大きな問題となる。何分、フェイス法には理論のようなものはないので、多分に勘に頼らねばならないであろう。何か巧みな変数割り当て方法を見つけ、例えば強度、靱性共に優れた製造方法によつて作られた場合（破面解析では、材料の寿命による破断の場合）は 2 枚目の笑顔が、強度はあるが靱性に劣るような製造方法によつて作られた場合（破面解析では、設計ミスによる過荷重が原因で破断した場合）は 3 枚目の怒り顔が、とい

うふうに材料の設計要因（または破壊要因）と対応した特徴ある顔を描くことが今後の課題であると思われる。

6. 結 言

以上の結果から次のようなことがわかつた。

(1) 画像組織の定量化には、よく使用される多変量解析以外にフェイス変換の適用も可能である。

(2) 画像組織から抽出される独立変数の数に制限されないフェイス変換が可能である。

(3) 画像組織をフェイス変換することにより、材料設計及び破面解析が比較的容易になるものと思われる。

工業技術院機械技術研究所では、昭和 51 年度から「機械構造の信頼性向上に関する研究」を特別研究として進めており、本稿はその一環である画像組織の定量化に関する研究をまとめたもので、いろいろとご意見を賜つた早稲田大学鋳物研究所 中田栄一教授に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 中田栄一：熱処理, 20 (1980. 2), p. 32
- 2) 坂本 昭：金属材料, 14 (1974. 12), p. 15
- 3) 松原 望：教理科学 (1977), p. 46
- 4) 磯田和男, 大野 豊：数値計算ハンドブック, (1971), p. 689 [オーム社]
- 5) Herman Chernoff: J. American Statistical Ass., 68 (1973), p. 342
- 6) 宮城音蔵：アトリエ, 629 (1979. 7), p. 83
- 7) 西沢泰二, 佐久間健人：金属組織写真集鉄鋼材料編, 日本金属学会編, (1979. 3)