

論文 グラフィカルモデリングを用いた部品加工工程の要因分析*

Process Analysis of Parts Manufacturing using Graphical Modelling

入倉 則夫 仁科 健 藤原 寛
 Norio IRIKURA Ken NISHINA Hiroshi FUJIWARA

In this paper, the graphical modelling is applied to process analysis of a parts manufacturing. This production line is composed of some elementary processes which are connected in series. The obtained multivariate data for the analysis are characteristics of the product from each of the elementary processes. By means of the exploratory causal analysis between the variables using the graphical modelling, neck elementary processes for a final characteristic of the parts can be identified and a hypothesis on the mechanism which causes the variation of the final characteristic can be created. In addition, the application of the graphical modelling to process analysis is discussed from the comparison with an alternative application of the multiple regression analysis.

Key Words : Exploratory Causal Analysis, Identification of Neck Process, Creation of Hypothesis, Multiple Regression Analysis

1. はじめに

連結したいくつかの要素工程からなる工程の要因分析を想定してみよう。そのとき、任意の要素工程とその上流にある要素工程には原因→結果の連鎖関係があると考えられる。このような工程の要因分析には因果分析の解析アプローチが有効である。たとえば、パス解析、もしくは重回帰分析を順次に行うことにより因果分析に対応できる。その解析過程では変数選択や診断機能を用いモデルの修正が可能である。しかし、この場合、解析に先立ち事前情報から因果構造の初期モデルを設定しておくことが必要となる。因果構造そのものを探索したい場合、パス解析や重回帰分析は、候補となるいくつかの因果構造のパターンを網羅的に与えることを必要とし、事前情報にない因果構造をデータから探索的に解析していく因果分析（以後、探索的因果分析と呼ぶ）には不向きである。これに対して、探索的因果分析のニーズに応えうる手法としてグラフィカルモデリングがある。グラフィカルモデリングとは、多変量データの関連構造を表す統計モデルをグラフによって表現する方法である¹⁾。

本論文では、回転部品プリーの回転バランス（以下、バランス）の要因分析にグラフィカルモデリングを用

いる。対象とする工程は直列に連なったいくつかの要素工程からなり、各要素工程の結果系データが取られている。本解析の目的は二つある。一つは総合品質特性であるバランスのばらつきの要因を作り込むネック工程の抽出であり、もう一つは変数間の構造探索を行うことにより、アンバランスの因果構造に関する仮説の抽出である。また、本解析を通じ重回帰分析を用いた場合との比較からグラフィカルモデリングの要因分析への適用について考察する。

2. 工程の概要とデータ

対象製品とした回転部品は Fig. 1 に示すような要素工程を経て製造される。Fig. 1 の数字はデータを取った位置を示す。データは各要素工程の半製品である予備成形品 (1)、成形品 (2)、焼きならし (3)、ツバ上げ品 (4)、V 溝成形・切削品 (5) の特性である。

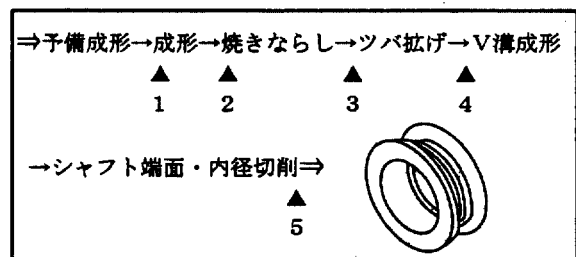


Fig. 1 Pulley manufacturing process

* (株)日本品質管理学会「品質」Vol. 27, No. 4 P.160~169
 より転載（原著筆頭者：仁科 健）

工程概要は次のとおりである。予備成形品 (1) はプレス機で成形加工されて成形品 (2) となる。成形品 (2) は焼準炉における焼準により焼きならし品 (3) となる。プレス機でツバを上げられツバ上げ品 (4) となる。成形機による V 溝成形、NC 施盤による端面内径切削を経て V 溝成形・切削品 (5) となる。

データは各要素工程の結果特性であるが、バランス精度 Y1 とバランス精度方向 Y2 は本工程の総合的な管理特性である。データ数は 40 個であったが、フレ方向に関する測定値に 2 個の異常値があったのでそのサンプルを除いて 38 個とした。

各特性に変数名を付け、Table 1 のように整理する。ここで事前情報である変数の時間的先行性を変数名 A

~H の添え字で表現する。たとえば、底厚 A は各要素工程で測定され、それらは工程ごとの推移を示す。そこで、各要素工程の底厚を先行する工程から順に A1, ..., A5 と表記する。このように要素工程ごとの推移を示す特性群を特性系列と呼ぶこととする。また、内外径フレ量 B と同フレ方向 D, およびシャフト内径 V 山立てフレ量 C と同フレ方向 E は、それぞれ量と方向を表す対となる特性である。

Table 1 Variables

半製品 特性値	予備 成形品 (1)	成形品 (2)	焼きならし品 (3)	ツバ上げ品 (4)	V溝成形 切削品 (5)
底厚	A1	A2	A3	A4	A5
内外径の フレ量	B1	B2	B3	B4	
シャフト 内径 V 山 たてフレ 量					C5
内外径の フレ方向	-	D2	D3	D4	
シャフト 内径 V 山 たてフレ 方向					E5
カップ 深さ	F1	F2	F3		
上げフラ ンジ径				G4	
重量	H1				

総合特性	バランス精度 Y1	バランス精度方向 Y2
------	-----------	-------------

(注) 底厚 A、カップ深さ F：最大値と最小値の平均値。
 上げフランジ径 G4：最大値。
 内外径フレ量 B：内径を基準として高さ方向中央部における外形のフレ最大値。
 シャフト内径 V 山立てフレ量 C5：シャフト内径を基準として中央の V 山のフレ最大値。
 内外径フレ方向 D、シャフト内径 V 山立てフレ方向 E5：予備成形品のフレ方向を基準としたフレ方向。

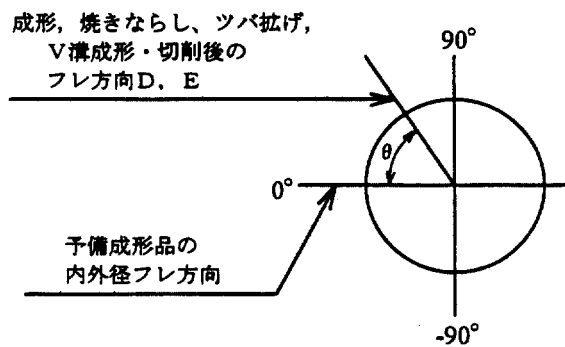
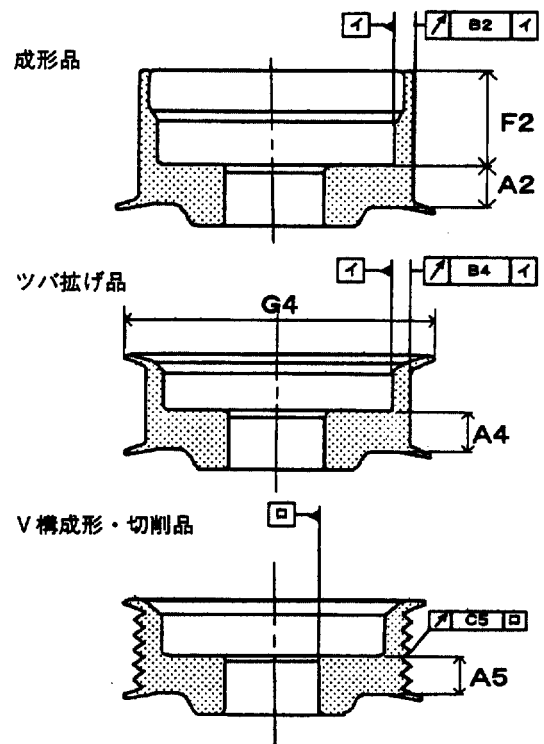


Fig. 2 Detail of variables

3. グラフィカルモデリングによる解析

3.1 解析の方針

Table 1 に示した 21 変数を一度に解析することは得策ではない。変数間の関連についての事前情報を考慮した解析が望ましい。ここでは解析手順を次のように考えた。

ステップ 1：予備成形工程から下流方向に各特性系列間の関連を把握する。

ステップ 2：総合特性のばらつきに寄与する特性系列と特性を絞り込む。

ステップ 3：ステップ 2 の結果を踏まえ総合特性（バランス精度 Y1, バランス精度方向 Y2）のばらつきを生むネック工程を抽出し、総合特性のばらつきを生むメカニズムを考慮する。

以下、このステップに従いグラフィカルモデリングによる解析結果を示す。なお、解析ソフトは芳賀の開発した CGM (Conversational Graphical Modelling)²⁾ を用い、解析手順は宮川³⁾ に準じた。

3.2 解析結果とその考察

1) ステップ 1

隣接する 2 つの要素工程を対象とし、上流工程を説明変数群、下流工程を目的変数群としたグラフィカル連鎖モデリング⁴⁾を行った。Fig. 3 に解析結果を示す。Fig. 3 の破線部は説明変数群内の関連を独立グラフで示したものである。

本論文では、グラフィカルモデリングにおけるモデル選択の指標として、逸脱度 (deviance: 以下 dev と記す) とその p 値を用いる。辺を除去した縮小モデルにおける相関行列を $\hat{\Pi}$ 、もとの標本相関行列を R 、サンプルサイズを n とするならば

$$dev = n \log (|\hat{\Pi}| / |R|)$$

となる。縮小モデルが真のとき、dev は取り除いた辺の数を自由度にもつ χ^2 分布に近似できる。 χ^2 分布から dev の値に対応する p 値を算出する。

本論文では、連鎖独立グラフの dev とその p 値を示す。連鎖独立グラフの dev は、説明変数群の独立グラフの dev と説明変数群を完全グラフとした目的変数群を含めた独立グラフの dev の和となる⁵⁾。 χ^2 分布の再生性から自由度にも加法性が成り立ち、連鎖独立グラフの dev の p 値を求めることができる。

Fig. 3 以降のそれぞれの連鎖独立グラフには、dev,

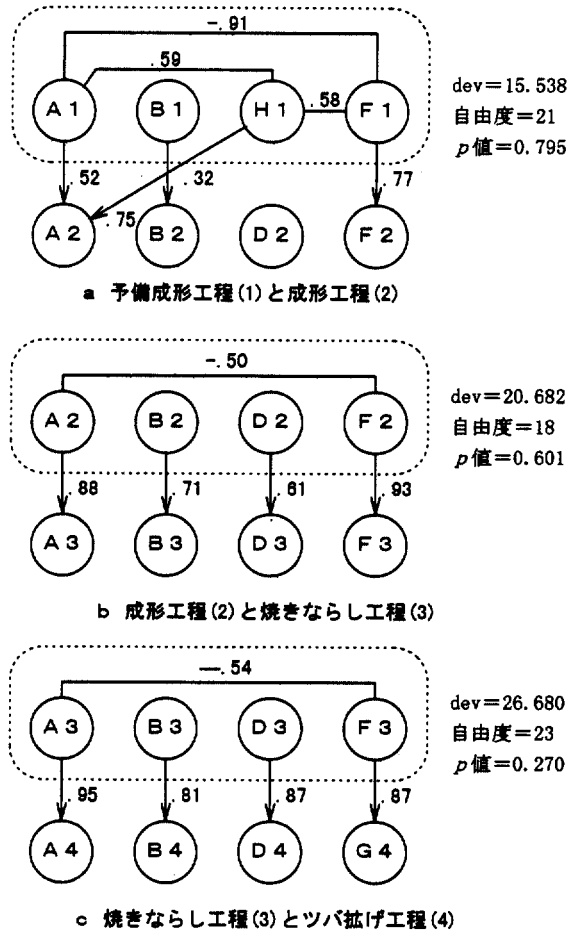


Fig. 3 Graphical modelling between variables (STEP 1)

自由度と p 値を示す。

Fig. 3 から同一特性系列の変数間に強い正の偏相関が、また、F3 と G4 間に強い正の偏相関係数が観察できる。また、底厚特性系列 A とカップ深さ特性系列 F 間には負の偏相関が観察できる。

以上の観察より、次のことが考察できる。

- ① 底厚特性系列 A とカップ深さ特性系列 F は予備成形品の段階で既に関連をもち、その関連が下流工程においても保持される。
 - ② 関連をもつ底厚特性系列 A とカップ深さ特性系列 F の両特性系列を一つのグループ系列とすると、このグループ系列、内外径フレ量特性系列 B、および内外径フレ方向特性系列 D は互いに関連をもたない独立な系列と考えてよい。
 - ③ 上げフランジ径 G4 はカップ深さ特性系列 F に含めてよい。ステップ 2 では、F1, F2, F3, G4 をカップ深さ特性系列 F とする。
- ①は予備成形工程の前工程である切断工程における

部品高さの制約から、②は部品加工時のセッティングには方向性がないことから、③は Fig. 2 に示したツバ挽げ品の挽げ角度の制約から技術的に説明できる。

2) ステップ 2

ステップ 1 における特性系列間の構造解析の結果を踏まえ、ステップ 2 では総合特性であるバランス精度 Y1 とバランス精度方向 Y2 に対する要因を絞り込む。バランス精度 Y1, バランス精度方向 Y2 を目的変数群とし、底厚特性系列 A, 内外径フレ量特性系列 B, 内外径フレ方向特性系列 D, およびカップ深さ特性系列 F の各系列の「最終」特性 (それぞれ底厚 A5, 内外径フレ量 B4, 内外径フレ方向 D4, 挽げフランジ径 G4) と、シャフト内径 V 山たてフレ量 C5 (以後 V フレ量とする), シャフト内径 V 山たてフレ方向 E5 (以後 V フレ方向とする), 重量 H1 を説明変数群として、グラフィカル連鎖モデリングによる解析を行う。説明変数群に各特性系列の最終特性を取り上げたのは、要因の系列として特性系列の絞り込みを意図するものである。

まず、説明変数群のみを対象とし解析を行う。解析結果の独立グラフを Fig. 4 破線内に示す。次に、目的変数群 (Y1, Y2) を加えて解析を行う。解析結果の連鎖独立グラフを Fig. 4 に示す。

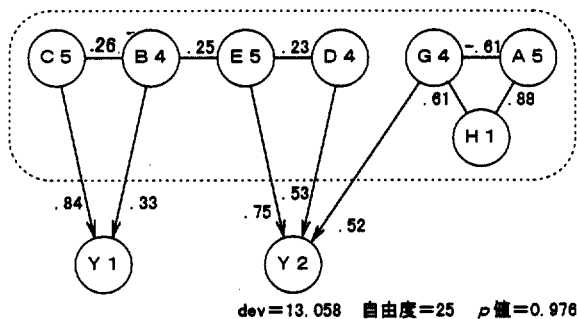


Fig. 4 Graphical modelling between final characteristics and variables (STEP 2)

Fig. 4 の観察から次のことが考察できる。

- ① バランス精度 Y1 のばらつきに影響を与えている要因は V フレ量 C5 と内外径フレ量系列 B であり、特に C5 の影響が強い。
- ② バランス精度方向 Y2 のばらつきに影響を与えている要因は V フレ方向 E5, 内外径フレ方向系列 D, カップ深さ系列 F (挽げフランジ径 G4) であり、特に E5, D4 の影響が強い。
- ③ バランス精度 Y1 とバランス精度方向 Y2 に共通して影響する変数はない。したがって、バランス精

度 Y1 とバランス精度方向 Y2 は単独に解析してよい。

②においてバランス精度方向 Y2 の要因として、カップ深さ系列 F が上がっている。方向性データであるバランス精度方向の要因として、方向性データではないカップ深さ系列 F が上がっていることは技術的に説明しづらい。また、偏相関係数が -0.26 とそれほど大きくない。したがって、カップ深さ特性系列 F はバランス精度方向 Y2 の要因として取り上げないこととする。ただし、②は挽げフランジ径—カップ深さの特性系列に関して方向性データを取った上で検討が必要なことを示唆している。

要因系をかなり絞り込んだので、バランス精度 Y1, バランス精度方向 Y2 への寄与率を確認しておく。すなわち、バランス精度 Y1 を目的変数に V フレ量 C5 と内外径フレ量 B4 を説明変数にとり、また、バランス精度方向 Y2 を目的変数に V フレ方向 E5 と内外径フレ方向 D4 を説明変数にとり、重回帰分析を行い

$$y1 = 0.188 b4 + 0.790 c5 \quad (r^2 = 0.819)$$

$$y2 = 0.372 d4 + 0.657 e5 \quad (r^2 = 0.690)$$

を得た。ここで、y1, y2, b4, c5, d4, e5 は、それぞれ Y1, Y2, B4, C5, D4, E5 を基準化した変数を表す。以後、重回帰式における変数は基準化したものであり、それらを英文字の小文字で表現する。フレ量特性系列 B, V フレ量 C5 とフレ方向特性系列 D, V フレ方向 E5 を要因とすることにより、Y1, Y2 の変動の 82%, 69% をそれぞれ説明することが確認できる。

ステップ 1 の解析結果から、要因として絞り込んだ内外径フレ量系列 B, 内外径フレ方向系列 D はともに、他の特性系列と関連がないと考えてよい。したがって、以後の解析では、バランス精度 Y1 に関しては、内外径フレ量特性系列 (B1, B2, B3, B4) と V フレ量 C5 を、バランス精度方向 Y2 に関しては、内外径フレ方向特性系列 (D2, D3, D4) と V フレ方向 E5 を要因として絞り込むことにする。

この解析段階において、要因系として内外径フレのみに着目したアンバランスとの因果モデルを想定するならば、内外径フレがアンバランスの原因であるとするメカニズムとして仮説 I (Fig. 6a に示す) が考えられる。

注：次のステップ 3 では、要因系として内外径フレのみに着目した考察と、さらに V フレを要因系に加えた考察とに分けて論じている。前者の考察とのつながりから、ここでは要因系として内外径フレのみに着目した仮説を記述する。

3) ステップ3

ステップ1, 2の結果から絞り込んだ特性系列と特性を要因として, 総合特性であるバランス精度 Y1, バランス精度方向 Y2の変動を生むメカニズムを探索する. グラフィカルモデリングを行うにあたり, 次の手順をとる. 工程の上流から下流に向かって特性系列の特性を1つずつ順次取り込み, 連鎖グラフィカルモデリングを繰り返す. Fig. 5a, bにそれぞれバランス精度とバランス精度方向に関する連鎖独立グラフを示す.

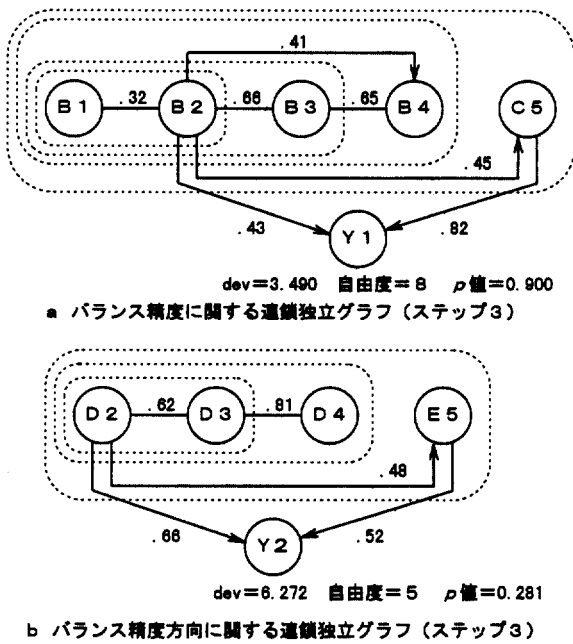


Fig. 5 Graphical modelling of final characteristics (STEP 3)

Fig. 5 から以下のことが観察できる.

- ① B1からY1への辺はなく, B1とB2との偏相関係数の値は大きくない.
- ② フレ量特性系列ではB2からY1への, フレ方向特性系列ではD2からY2への辺が存在する.
- ③ B4からY1への, D4からY2への辺は存在しない.
- ④ C5からY1への, E5からY2への辺が存在する.
- ⑤ B2からVフレ量C5への, D2からVフレ方向E5への辺が存在する.
- ⑥ B4からC5への, D4からE5への辺は存在しない.

以上の観察を要因系として内外径フレのみを対象とした観察①, ②と観察③, 次に, Vフレを加えた観察④, ⑤, ⑥に分けて順次考察し, 各考察段階においてアンバランスを作り込むメカニズムに関する仮説を示す.

まず, 要因系として内外径フレのみを対象とした因果モデルを考察してみよう. 観察①と②から予備成形がバランスに与える影響は小さく, 成形工程がネック工程であることが考察できる. ここで(B2, B3, B4)と(D2, D3, D4)がそれぞれ同一特性系列であることから, B2およびD2の影響が後工程まで残っているという解釈をするならば, 内外径フレとバランスに関する因果モデルを, 「内外径フレの原因が成形工程に存在し, 内外径フレがアンバランスの原因となる」とする仮説II (Fig. 6bに示す) に修正する.

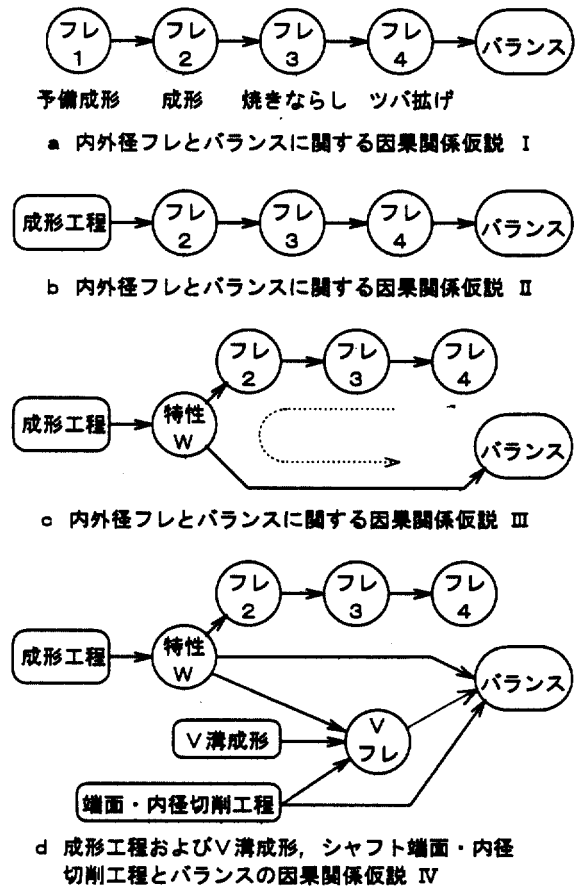


Fig. 6 Hypothesis of causal relationship between final characteristics and variables

しかし, 観察③から以下のような考察ができる. もし, Fig. 6bの仮説IIが成立するならば, Fig. 5aにおいては, B4からY1への辺が, Fig. 5bにおいては, D4からY2への辺が存在してしかるべきである. Fig. 5aは, B3またはB4の値を固定してもB2からY1への関連があることを, Fig. 5bは, D3, D4の固定してもD2からY2への関連があることを示している. ここで, 次のような仮説III (Fig. 6c参照) が想定できないだろうか.

仮説IIIは以下のように説明できる。成形工程が内外径フレとバランスの共通原因である特性 W を作り込んでいる。したがって、内外径フレとバランス間は特性 W を介して相関をもつ。

仮説IIIを相関関係数行列から説明してみよう。以下に、バランス精度 $Y1$ およびバランス精度方向 $Y2$ に関連する変数の相関関係数行列(それぞれ R_1, R_2 とする)を示す。

$$R_1 = \begin{pmatrix} B1 & B2 & B3 & B4 & C5 & Y1 \\ 1.000 & 0.324 & 0.237 & 0.334 & 0.294 & 0.287 \\ 0.324 & 1.000 & 0.683 & 0.737 & 0.606 & 0.732 \\ 0.237 & 0.683 & 1.000 & 0.824 & 0.427 & 0.517 \\ 0.334 & 0.737 & 0.824 & 1.000 & 0.541 & 0.615 \\ 0.294 & 0.606 & 0.427 & 0.541 & 1.000 & 0.891 \\ 0.287 & 0.732 & 0.517 & 0.615 & 0.891 & 1.000 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} D2 & D3 & D4 & E5 & Y2 \\ 1.000 & 0.619 & 0.600 & 0.571 & 0.843 \\ 0.619 & 1.000 & 0.868 & 0.357 & 0.611 \\ 0.600 & 0.868 & 1.000 & 0.243 & 0.532 \\ 0.571 & 0.357 & 0.234 & 1.000 & 0.748 \\ 0.843 & 0.611 & 0.532 & 0.748 & 1.000 \end{pmatrix}$$

R_1, R_2 からわかるように、内外径フレ量特性系列の各変数とバランス精度 $Y1$ との各相関関係数は

$$r_{B2,Y1} > r_{B4,Y1} > r_{B3,Y1}$$

であり、内外径フレ方向特性系列の各変数とバランス精度方向 $Y2$ との相関関係数は

$$r_{D2,Y2} > r_{D3,Y2} > r_{D4,Y2}$$

である。しかし、もし仮説IIが成立するならば、すなわち、成形工程に存在するバランスへの根本原因が内外径フレ特性を介してバランスに効いているとするならば

$$r_{B4,Y1} > r_{B3,Y1} > r_{B2,Y1}$$

$$r_{D4,Y2} > r_{D3,Y2} > r_{D2,Y2}$$

が成立して然るべきである。しかし、 R_1, R_2 はそれを示していない。仮説IIの成立は疑わしい。

これに対して仮説IIIのもとでは、内外径フレ3とバランスの相関は、内外径フレ2→特性 W を介しているため、内外径フレ2とバランスとの相関より小さくなる。内外径フレ4とバランスとの相関は、内外径フレ3→内外径フレ2→特性 W を介しているため、さらに小さくなる。すなわち、仮説IIIのもとでは

$$r_{B4,Y1} < r_{B3,Y1} < r_{B2,Y1} \quad (1)$$

$$r_{D2,Y2} < r_{D3,Y2} < r_{D4,Y2}$$

が成立する。

相関関係数行列 R_1, R_2 からにおける $r_{B4,Y1}$ と $r_{B3,Y1}$ の関係を除いて(1)式の成立を観察することができる。 R_1 は仮説IIIを全面的に説明しているわけではない。しかし、 R_1 と R_2 を総合的にみるならば仮説IIIを否定できないと考える。

次に、Vフレに関連する因果モデルを加えて考察してみよう。観察④からV溝成形工程もしくは端面・内径切削工程がもう一つのネック工程であることが考察できる(3・3節の技術的説明では、端面・内径切削工程をもう一つのネック工程と考えている)。すなわち、特性 W に加えてVフレがアンバランスの原因であることが考えられる。

観察⑤と観察⑥から成形工程、内外径フレとVフレの因果関係が考察できる。この因果関係は、観察②と③から考察した成形工程、内外径フレとバランスの因果関係と同様な関係が考えられる。すなわち、Vフレの直接の原因は内外径フレではなく、特性 W がVフレの原因の一つを作り込んでいることが考察できる。また、相関関係数行列 R_1 と R_2 からVフレと内外径フレの相関関係数はバランスと内外径フレのそれと同様なパターンを示していることが観察できる。これらのことから特性 W がバランスとVフレの共通原因であることが考えられる。したがって、仮説IIIにVフレを加えた因果関係として仮説VI (Fig. 6d) が抽出される。

3.3 抽出された仮説の技術的説明

仮説IVによるアンバランスの発生メカニズムを技術的に説明してみよう。特性 W として偏肉が考えられる。成形工程における金型が原因となり、成形品に偏肉が生じる。Table 1の注に示したように、内外径フレは内径を基準とした外径のフレ最大値である。したがって、成形時の発生した偏肉が成形品の内外径フレ $B2$ を生む。ただし、その測定位置はFig. 2に示した部品図の高さ方向の中心であること、およびフレの最大値であることに注意すべきである。焼きならし工程で成形品が塑性加工されることにより、成形時に発生した偏肉にずれが生じる。このとき高さ方向へのずれが大きいたことが考えられる。したがって、高さ方向の中心を測定位置とした焼きならし後の内外径フレ $B3$ 、ツバ上げ加工後の内外径フレ $B4$ はバランス精度の直接原因にはならない。しかし、偏肉発生時の内外径フレである $B2$ はバランス精度の直接原因となる。

また、高さ方向にずれた偏肉はV溝成形により、高

さ方向に平均化される。したがって、バランス精度と同様に高さ方向の中心を測定位置とした焼きならし後の内外径フレ B3、ツバ上げ加工後の内外径フレ B4はVフレの直接原因にはならない。成形時の内外径フレ B2がVフレの直接原因となる。

Table 1の注にあるように、Vフレ、Vフレ方向はシャフト内径を基準としたフレ最大値とその方向である。したがって、Vフレ、Vフレ方向はシャフト端面・内径切削加工におけるチャッキング時の心ずれを含む可能性がある。この心ずれがバランス精度の原因の一つとなる。バランス精度の単位はgcmである。アンバランスの質量の原因は偏肉にあり、心ずれの大きさの原因はシャフト端面・内径切削加工時のずれであることが予想される。

仮説IVの下で、以上のような技術的シナリオが想定できる。

3.4 本解析の結論

本解析の結論を以下にまとめる。

- ① アンバランスのネック工程として成形工程、およびシャフト端面・内径切削工程があげられる。
- ② アンバランス発生のメカニズムに関する仮説を抽出し、それに技術的解釈を加えた。

4. グラフィカルモデリングの適用に関する考察

要因分析の代表的なツールとして重回帰分析が上げられる。ここでは、本事例研究の解析ツールとして重回帰分析を用いることを想定し、第3章の解析過程との比較からグラフィカルモデリングの特徴を議論する。

第1章で「重回帰分析は、候補となるいくつかの因果構造のパターンを網羅的に与えることを必要とし、事前情報にない因果構造をデータから探索的に解析していく因果分析には不向きである」と述べた。このことを本解析結果のFig. 3, Fig. 4をもとに説明しよう。Fig. 3, Fig. 4に示すように、グラフィカルモデリングは説明変数群内の関連、目的変数群内の関連、および変数群間の関連を探索的に解析に対応できる。

これに対して重回帰分析は想定するモデルが逐次モデルである場合には対応できる（たとえば、樺⁴⁾）。しかし、重回帰分析では、Fig. 3, Fig. 4に示したグラフィカルモデルによる変数群内の無向グラフがもつ情報（重回帰分析では説明変数間の構造）をモデルとして抽出できない。たとえば、ステップ1の解析から得た特性系列間の構造は変数群内の構造分析によるところが大

きい。また、変数群間の関連解析では、網羅すべき線形モデルが著しく多くなり、重回帰分析での対応は手間がかかる。

もしバランス精度の要因が内外径フレ特性系列 B、Vフレ量 C5に絞り込まれ、バランス精度方向が内外径フレ方向特性系列 DとVフレ方向 E5に絞り込まれていたとしよう。すなわち、ステップ2までの解析結果が事前情報としてあったとしよう。このとき、Fig. 5に示した因果構造を網羅的に与えたならば、そのモデルは逐次モデルであるので重回帰分析を用いても対応が可能である。以下に重回帰分析の変数選択後の解析結果を示す。

Fig. 5a に関して：

$$\begin{aligned} b_2 &= 0.324 b_1 \\ b_3 &= 0.683 b_2 \\ b_4 &= 0.601 b_3 + 0.327 b_2 \quad (r^2 = 0.736) \\ c_5 &= 0.606 b_2 \\ y_1 &= 0.707 c_5 + 0.304 b_2 \quad (r^2 = 0.853) \end{aligned} \quad (2)$$

Fig. 5b に関して：

$$\begin{aligned} d_3 &= 0.619 d_2 \\ d_4 &= 0.868 d_3 \\ e_5 &= 0.571 d_2 \\ y_2 &= 0.395 e_5 + 0.143 d_3 + 0.529 d_2 \quad (r^2 = 0.829) \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式においてD3が取り込まれている。Fig. 5bと整合していないが、この点を除いて重回帰分析によりFig. 5を再現できる（(3)式のd3に関しては、F値が2.495であり微妙なところである）。

ここで、逐次モデルを仮定しないで目的変数がY1とY2であることに着目し、残りの19変数を説明変数とし、盲目的に重回帰分析を行ったとしよう。変数選択の結果、同様に(2)式と(3)式の結果を得る。しかし、(2)式と(3)式のみからネック工程を成形工程、および端面・内径切削工程とみなすことが、また、Fig. 6c, dに示した仮説III, IVを抽出することができるであろうか。ネック工程の同定結果を技術的に解釈するためには説明変数間の構造解析が不可欠である。説明変数間の構造解析があつて初めて新たな仮説の抽出も可能となる。特に、本事例では顕在化していなかった特性Wの抽出に着目したい。特性Wは要因間の探索的な構造分析から抽出できたものである。また、このような解析過程において解析結果のグラフ表示は解釈の助けとなる。探索的因果分析であるグラフィカルモデリングの特長がここにある。

以上の議論から重回帰分析と比較したグラフィカルモデリングの優位性は「説明変数群, 目的変数群が想定できるとき, 各変数群内, 変数群間の関連を探索的に解析することができ, かつ, 解析結果をグラフ表現できる」ことである。ただし, 前述したように, 逐次モデルが仮定できるとき, 各モデルを網羅的に取り上げ重回帰分析での対応も可能である。また, 重回帰分析のソフトには種々の回帰診断機能が付いている。モデルの寄与率を上げるための解析などは重回帰分析が得意とするところである。

グラフィカルモデリングを工程解析に適用する場合の留意点として, 変数のグルーピングが上げられる。本解析では変数群を要素工程に対応させた。変数のグルーピングには技術的な事前情報が必要であることはいまでもない, 工程の流れを事前情報とした変数のグルーピングが重要である。

5. おわりに

要因分析における従来の目的は, 仮説の質的 (確信の度合い) あるいは量的 (要因の数) な程度に応じて, 「事前にもつ知見の確証」「要因の絞り込み」「新たな要因の抽出」に分類することができる。この分類に要因間の探索的な構造分析である「因果構造仮説の構築」を加えたい。これは, 椿⁴⁾の言う「科学的立場のデータ解析」を指向したものである。したがって, 本論文では探索的因果分析の手法であるグラフィカルモデリングを用いることにより, Fig. 6 の仮説III, 仮説IVが抽出できた過程を強調したい。

品質管理分野では, 重回帰分析を中心とした工程解析に関する貴重な財産がある。これに, グラフィカルモデリングを中心とした探索的因果分析を組み込むことにより, より強力なツールになると考える。

謝 辞

品質管理学会テクノメトリックス研究会からデータ解析に関する貴重なご意見をいただいた。同研究会主査宮川雅己先生からは, 原稿の草案段階で多くのコメントをいただいた。解析ソフトは同研究会委員芳賀敏郎先生作成のCGMを利用させていただいた。当学会中部支部幹事若手研修会においても, アンバランスの発生メカニズムに関する貴重なご意見をいただいた。また, 文献⁵⁾は本研究の端緒となった。関係諸氏に感謝申し上げます。次第である。

〈参 考 文 献〉

- 1) 宮川雅己: グラフィカルモデリング, 朝倉書店 (1997).
- 2) 芳賀敏郎: “CGMプログラム”, 日本品質管理学会第60回シンポジウム講演要旨集上p.19~24 (1996).
- 3) Whittaker. J.: Graphical Models in Applied Multivariate Statistics, JOHN WILEY & SONS (1990).
- 4) 椿 広計: “回帰分析から因果分析へ”, 標準化と品質管理上 47 p.111~116 (1994).
- 5) 高木友司: 名古屋工業大学生産システム工学科経営工学コース平成5年度卒業論文 (1993).

〈著 書〉



入倉 則夫 (いりくら のりお)
電機製造2部
電装品生産技術, 工場管理に従事。



藤原 寛 (ふじわら ひろし)
名古屋工業大学大学院工学研究科
生産システム工学専攻 (現 松下
電工(株)生産技術研究所CIEセン
ター)。



仁科 健 (にしな けん)
名古屋工業大学工学部生産システム
工学科助教授。
統計的品質管理, 感性の計量化の
研究に従事。