経験的予測のモデル化と歯車の振動推定に対する適用*

久保 愛三^{*1}, 赤堀 広文^{*2}, 坂本 勇^{*3}A Model for Empirical Estimation and its Application
to the Prediction of Vibrational Level of Gears

Aizoh KUBO, Hirofumi AKAHORI and Isamu SAKAMOTO

A hypothesis is assumed in that the empirical estimation reached by mechanical engineers in designing, trouble shooting and so on is worked out not by "rules" stored in the knowledge base which is deduced from their experiences, but by simple inter-or extrapolation of data concerning the objective matter in the memory of their experience, which are not conceptualized in the form of "rules". In this report a model for this is proposed. The procedure of prediction according to this model is as follows: 1. Specification of factors which influence the objective matter, and classification of concepts of nonnumeric factors among them in a tree structure. 2. Construction of the data base according to this conception structure. 3. Investigation of the degree of resemblance in objective matter between the investigating example and each example in the data base. 4. Decision of the estimating value by enveloping extrapolation of distributing points on the "objective matter vs degree of resemblance" chart. Predictions of gear vibration according to this model have proved that the accuracy of the estimation is quite good. When this model is incorporated in an expert system, it is no longer necessary for knowledge engineers to form "rules" by consulting experts. The job of knowledge engineers is to construct the attributes of the data base, that is, to construct the tree structure of the conception of factors which influence the objective matter.

Key Words: Expert System, Empirical Prediction, Gear, Vibration, Database, Knowledge Engineer

1. 緒 言

歯車装置の設計を例にとると、まず設計者が考えることは、同じ用途で、使用条件、運転条件の似た歯車装置には、過去にどのようなものがあったか、その構造、使われている歯車の諸元、精度、材料はどうであったか、その歯車に損傷が起ったか、振動騒音はいかがであったか、そして結果として、その歯車装置の評価はどうであったか、設計者として反省すべきことはなかったか、といったことであり、前例を参照することなしに設計を行うことは、およそ不可能である。一般に、豊かな経験ある優秀な技術者は、自分の経験した過去の事例を整理と整理、分析し、その分析結果に問題点の抽出結果も付け加えて記憶している。新たな歯車装置を設計製作する場合やトラブルシューティングの場合には、これらの前例の検索が行われて、創作や判断がなされる。

過去の経験の参照が、自動的に行えるようにすることは、一般には非常に難しいことであるが、エキスパートシステムと呼ばれるものが、その実現を目指しているものであろう。エキスパートシステムの構造は代表的に、図1のように表すことができる⁽¹⁾⁽²⁾。エキスパートシステムが有効に動くためには、エキスパートの知識をルール化したものの集合である知識ベースの内容が十分な量存在し、それが知識ベース管理システムにより、最適に用いられねばならない。したがって、これらの知識ベースの構築と管理の仕事、特にエキスパートから必要な知識を獲得しそれをルール化する仕事を行う人間、いわゆる、知識技術者(knowledge engineer)の仕事の成果が、エキスパートシステムの能力を決定してしまう。しかしながら、知識ベースならびにその管理システムの構築は、エキスパートが漠然として持っている知識のどの部分をどのようにルール化すべきであるのか、また、できるのかを決定して行われ、知識技術者が、知識を供給しようとするエキスパートと同等かそれ以上の知識をその分野において持っていなければ、ほとんど不可能であるほど、一般に困難な仕事である⁽³⁾。

経験的知識を、ルール化することは一般に極めて難しい。この困難さを考えると、経験ある人間が、はたして本当に自分の知識をルール化し、それを参照して、物事を推論したり判断したりしているのであろうかと

* 平成2年3月23日 関西支部第65期定時総会講演会において講演、原稿受付 平成元年5月19日。

^{*1} 正員、京都大学工学部 (〒606 京都市左京区吉田本町)。

^{*2} 准員、川崎重工業(株) (〒509-01 各務原市川崎町1)。

^{*3} 正員、大阪産業大学工学部 (〒574 大東市中垣内3-1-1)。

いう疑問が出てくる。どうもそのような面倒なことをしているのではなく、経験ある人間は、自分の経験知識を整理と整理し、ある物事に接したときそれを参照して、できるだけ類似の事例を引き出し、それを補間あるいは補外して物事を推論したり判断したりするように思われる。もしそうだとすると、図1のような知識ルールの集合により機能するエキスパートシステムや人工知能は、人間の思考過程と異なる働きをモデルにしていることになる。

エキスパートシステムを有効に働かせる上でデータ検索は不可欠であるとの認識を持ち、データ検索を容易にするデータベースのデータ操作言語でエキスパートシステムを構築する試みはなされているが⁽⁴⁾、これは知識ルールをデータベース中に蓄える形でエキスパートシステムを構築しようとするものであって、エキスパートから必要な知識を獲得しそれをルール化する仕事の重要性にはなんらの変化を与えるものではない。

本研究は、結果として図1のような構造を持つエキスパートシステムと類似の機能をもつものであるが、知識のルール化という困難な仕事をするとなしに、優秀な機械技術者、設計者が常にやるような方法で、経験的事実から新しい事例の状態を予測することのできるシステムを提案するものである。

2. 階層的理解と経験的予測のモデル化

2.1 歯車技術者の歯車装置振動騒音に関する経験的知識の理解法 例として、動力伝達用歯車装置の運転中の振動騒音を予測する場合を取り上げる。歯車装置の振動騒音を考える場合、歯車技術者は、どのような用途の歯車装置で機種はなんであったか、運転速度、伝達力、歯車の諸元、精度はどうであったか、駆動機・被動機、歯車箱の構造や設置状況はどうであったか、系の固有振動数はどうであったかなどを考え、次に、歯車の基本諸元等から導かれる、かみあい率や歯

の剛さ、歯車対のねじり振動の固有振動数、また、運転条件とこれらの量との関係で求まる、歯のたわみと歯車誤差振幅との比等の値を推定あるいは算出し、それらの関数として振動や騒音の状態を推し量る。すなわち、このような思考の入力あるいは独立変数群とそれから導出される諸値により、今考えている事例が特徴付けられ、経験的知識として保存されている情報から、それにできるだけ類似の事例が引き出されているのである。

2.2 データベース 歯車装置の振動騒音についてはすでに多くの研究成果が発表されており、同一用途、同一機種の歯車装置については、歯車対の円周方向相対振動(ねじり振動)の大きさと運転騒音・振動の大きさの間に、かなりよい相関のあることが認められている^{(5)~(11)}。歯車装置の振動騒音を決定するあるいはそれを予測する場合、入力データの一部は、基本的な諸元・条件量から、歯車対の円周方向相対振動の大きさを算出するための量に変換する必要がある。これらはすべて数値データであるが、このほかに、歯車装置の用途や機種や歯車箱の構造や設置状況等のように、単純には数値化できないものも実際の振動騒音の大きさには極めて大きな影響を及ぼす。

これらを総合し、いま、入力データの項目の一例として表1に示すものを考えることにする。数値データは、値の信頼性についての不確かさはあるものの確定的に与えられるが、それ以外の文字や文章で与えられるデータについては種々の可能性があり、数値データのように単純でない。「用途機種」について考えてみると、例えば自動車会社の歯車技術者は、「自動車用の」—「自分の会社の」—「どの車の」—「主トランスミッション」の騒音というように理解するであろう。こ

表1 諸元・条件データベースの最上階層の項目例
(歯車装置の振動騒音に対する場合)

No	Factor	Type
1	Data number	Character
2	Field of application	Character
3	Tooth mesh frequency	Numeric
4	Transmitting load	Numeric
5	Loading condition	Character
6	Contact ratio	Numeric
7	Gear accuracy	Numeric
8	Tooth flank roughness	Numeric
9	Gear box construction	Character
10	[Mesh freq.]/[Natural freq.]	Numeric

図1 エキスパートシステムの一般的構造と知識技術者のかかわる範囲(太線ならびに斜線部)

図2 歯車装置の振動騒音に対する、諸元・条件データベースの構造例

の第1項目は自動車用のほかに、産業機械用、建設機械用、鉄道用、航空機用など種々のものが考えられ、その各々の下に、どこの会社の何型といった情報がその型の数だけ存在し、その各々の下にその機械のどの部分で機能する歯車装置であるかが指定される。

この例からもわかるように、ある概念を与える文字型のデータは、その内容を階層的に分類することが可能である。階層化できないもの、あるいは、ある程度以上深く階層化できないものは、そこを階層のいちばん底だとみなせばよい。歯車装置の振動騒音に関係する諸条件を特定するための階層化概念ができると、過去の事例がその概念構造によって分類整理されてデータベースを作ることができる。

図2は、本研究で提案するモデルを実際に構築し、その挙動を検討するために採用した階層概念の一例を示している。最上位の階層として表1の内容をとり、文字型データについてはその下に適当な深さの下位階層を設けている。実際に本論文で提案する経験的予測のモデルを動かすには、この階層概念に従った構造と属性を持つデータベースが必要である。したがってここでは、現実集められるデータの数と内容を考慮し、またモデルを記述する言語仕様の能力をも考慮して、例えば「用途機種」の項目の下の「どこの会社の」「何型」を示す階層を削除するなど適当な簡略化を施している。

2.3 類似度 データベース中にある過去のデータと検討対象にしているデータがどの程度類似しているかを判定することはあまり容易ではないが、ここでは以下のような手法を提案する。

数値データは直接その値を比較することが可能であ

図3 数値型データに対する類似性ポイント P_n

る。そこで

$$D = \frac{[\text{過去の設計例の値}]}{[\text{検討例の値}]}$$

$$\dots\dots\dots (1)$$

の関数として、類似性ポイント P_n なるものを考える。 $P_n=0$ とは二つのデータが全く異なることを意味し、 $P_n=1$ とは同一であることを意味するとする。するとこの関数は $D=0$ で $P_n=0$ 、 $D=1$ で $P_n=1$ 、 $D \rightarrow \infty$ で $P_n \rightarrow 0$ なる挙動を示すことは明らかである。この関数をここでは図3の破線のように近似する。数値データは階層を持たないので、すべて式(1)と図3により単純に類似性ポイントを決定することができる。

文字型データは階層化された概念として保存されている。そこで、各階層ごとにその概念内容に番号付けをすると、階層化された概念の各々は、各階層ごとの概念内容の番号を階層の深さ方向(Top down)に書き並べて得られるコードにより特定することができる。例えば図4を参照して、自動車用ファイナルデフは0102なるコードで表されることになる。このコードは階層の深さ方向に各階層の概念内容を書き並べて得ら

れたものであるため、二つの文字型データのコードが完全に同じならば、両者の示す概念は完全に一致し、コードがはじめから途中まで一致すれば両者の示す概念はコードの一致の程度に応じただけ似ており、コードが最初から異なれば両者の示す概念は全く違うことになる。このことより、文字型データについての類似性ポイント P_n を次のように決める。すなわち、コードが

$$\left. \begin{array}{l} \text{すべて同じなら: } P_n=1 \\ \text{途中まで同じなら: } 0 < P_n < 1 \\ \text{(一致コードの階層に応じた値)} \\ \text{最初から異なるなら: } P_n=0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

この定義により、いま検討しようとしている事例とデータベース中の各事例との間に、表1に示した各々の項目ごとに、両者間の類似性ポイント P_n を決定できる。

いま検討しようとしている事例とデータベース中の各事例との間の類似度 P は、これらを総合することにより

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{K_n P_n}{\sum_{n=1}^N K_n}, \quad N: \text{対象項目数} \dots\dots\dots (3)$$

で求められる。ここに K_n は重みの係数である。これは、表1に示した各々の項目の歯車装置振動騒音に及ぼす影響程度が一樣でないため、その影響程度に応じて、表1に示した各々の項目に対する類似性ポイント P_n に重みをつけるものである。この重みの値は、エキ

スパートが経験的に与えなければならないものであり、厳密には K_n 自体が図2で示されるような階層の内容すべての関数になるが、ここでは問題を容易にするため、重みは固定であるとした。

2.4 推論法 まず、このシステムが動くためには過去の歯車装置に関するデータベースが存在しなくてはならない。このデータベースは、表1、図2に示した構造の、事例を特定するための諸元・条件データベースと、表2の属性を持つ、振動騒音の測定や推定結果や実績を納めた対象項目データベースとから成り立っている。

いま、ある新しい事例についての振動騒音を、ここに提案する方法で予測する場合を考える。図5はその流れを示したものである。まず、検討しようとする歯車装置に関するデータがこの階層概念に沿って分析されて諸元・条件データベースに入力される。このデータベース中の過去の各事例のデータといま入力したデータとが比較され、過去に用いられた重み係数を参照して指定することにより、類似度が計算される。次に、過去の各々の事例ごとに、対象項目データベース中より対象項目量(この場合は、振動の大きさ)の実績データが引き出され、類似度の関数として一覧される。この[現検討例と過去事例との類似度] vs. [実績データ]の分布状態を補間あるいは補外して、今検討している新しい歯車装置事例の振動騒音の大きさを推定する。

3. 経験的推論の実行例

3.1 検討方法 この経験的推論法のモデルを実際に動かすのに必要なデータベースのために、ここでは、実際に我国で用いられたあるいは用いられている歯車装置(インボリュート円筒歯車の歯車装置のみ)のデータを43件収集した。データ中の歯車装置の用途

図4 文字型データの概念の階層構造と、それに対するコーディングの方法(T:真 F:偽)

表2 対象項目データベースの項目例

No	Factor	Type
1	Data number	Character
2	Similarity grade	Numeric
3	Estimated value	Numeric
4	Allowable value	Numeric
5	Measured value	Numeric
6	Judgment	Logic
7	Existence of actual unit	Logic
8	Evaluation	Logic
9	Comment	Character

は、自動車、産業機械、ターボ機械、建設機械、鉄道、船舶、工作機械、電動工具、OA 機器、歯車運転試験機にわたっており、伝達動力は 0.5 kW-30 000 kW、回転数は 280-11 000 rpm、モジュールは 0.6-18 mm、圧力角は 14.5-27 deg、ねじれ角は 0-34.5 deg、歯車精度は JIS 0-JIS 5 級の範囲である。

しかし、これらの事例の内では若干のものは振動騒音の測定結果を持っておらず、また、測定結果のある場合についても測定方法に統一性がなく、定量比較をする場合のデータとして問題があった。そこで、歯車装置運転中の振動騒音の大きさととの間にかなりよい相関があることが一般的に認められている歯車円周方向振動加速度の大きさをシミュレーションプログラムにより計算し⁽⁶⁾⁻⁽¹¹⁾、これをもって、各々の歯車装置の振動騒音の大きさを表す指標値とした。このシミュレーション計算を行う際、具体的な歯形形状や歯筋形状が不明なデータについては、それが、その用途、精度、加工法に特徴的な形状であり、誤差振幅が JIS 歯車精度規格で示されている許容最大値であると仮定した。また、ピッチ誤差の影響は無視した。また、統計的考察をする場合、これではデータ量が不足する際には、できるだけ現実に即したような歯車装置のダミーデータを作成してシミュレーションを実行し、最大 160 件の内容を持つデータベースとした。

3.2 経験的推論の実例 ある新しい事例を検討

図 5 過去事例との類似度の比較による推論の流れ

する。データベース中にあるすべての過去のデータとこの事例との間の類似度を計算してこれを横軸の値とし、縦軸に各々の過去のデータが持つ無次元化振動加速度の実効値 ξ''_{eff} (シミュレーション結果の値を対数表示) をとった一例が図 6 の○印である。ここに無次元化振動加速度とは、駆動歯車に対する被動歯車の回転遅れ角を作用線上に換算した値を x 、歯の平均たわみを x_s 、歯をばねとする歯車対の相対円周方向振動の固有角振動数を ω_e 、時間を t 、としたときには、 $\xi'' = d^2(x/x_s)/d(\omega_e \cdot t)^2$ である。

類似度 $P=1.0$ とは、新しい事例と図中のその位置にあるデータベース中の過去の事例の特徴が一致していることを意味しており、 P の値が小さくなるほど、だんだん似ていないことになる。図 6 の例では、過去の事例との類似度の点が P の値のかなり大きい範囲に集中しており、データベース中にはいま検討しようとしている事例と似た事例がかなり含まれていることがわかる。経験的予測とは、これらの○の分布が類似度 $P=1.0$ のところへ収束した縦軸の値をもって、新しい事例の予測値とすることである。すなわち、破線で示された $P=1.0$ の位置の値がその予測値である。一方、今検討している事例について、加速度の大きさを歯車円周方向振動シミュレーションにより独立して計算した結果が、●印である。図に見られるように、推定値と●印は極めてよく一致しており、今検討している事例については、歯車円周方向振動シミュレーションなど実行してみなくても、過去のデータからの経験的予測のみで十分、加速度の大きさを推定できたことがわかる。

図 7 は、他の事例を同じデータベースを用いて検討したものである。この場合には、○印は P の値がかなり小さい範囲に分布しており、 P の値が大きいところにはあまり点がない。すなわち、データベース中にはいま検討しようとしている事例と似た事例がほとんど含まれていない場合である。しかしこの場合も、○の分布から破線で示される $P=1.0$ の位置の値を推定すると、加速度の大きさを歯車円周方向振動シミュレーションにより計算した結果(●印)と極めてよく一致する。したがってデータベース中に類似のデータがほとんどないこの場合も、過去のデータの量が十分にあれば、経験的予測のみで加速度の大きさを推定できることがわかる。

図 8 は、データベース中に蓄えられている過去のデータの数により、ここに示した経験

的予測法の精度がどのように変わるかを示したものである。横軸にはデータ件数(20, 40, 80, 160), 縦軸には過去のデータ(○印)の分布から今検討している事例の振動加速度実効値を予測した値 a_{esti} と、歯車円周方

図 6 [過去事例との類似度] vs. [実績データ] の分布状態による現検討例の推定値と、シミュレーション結果の比較

図 7 [過去事例との類似度] vs. [実績データ] の分布状態による現検討例の推定値と、シミュレーション結果の比較

図 8 データベース中のデータ数と推定精度の関係

向振動シミュレーションにより計算した結果(●印) a_{simu} との比 $|a_{simu} - a_{esti}|/a_{esti}$ をとっている。図にみられるようにデータ件数が 40 件程度を超えるとかなりよい精度で予測できることがわかる。また、図 6, 7 の結果より明らかなように、ここに提案している経験的予測法の基礎となるデータベースのデータとしては、必ずしも検討事例に類似のデータを選んで集める必要はないが、ただ、嘘のないデータであることが必要である。内容に偽りのあるデータがデータベース中にあると、図 6, 7 のような分布を乱すので、まともな推定ができなくなる。これは人間の思考や経験的予測や推定の場合と極めてよく似ている。

3.3 重み係数について 類似度を計算するときに必要な重みの値として、前節では表 3 の * の列の値を採用した。歯車箱構造についての重みを零としているのは、歯車円周方向振動加速度の大きさのシミュレーション計算結果をもって、各々の歯車装置の振動騒音の大きさを表す指標値としたために、歯車箱や設置状況を全く考慮できなかったためである。実測データを用いてこのシステムの経験的推論を行うときには、当然、歯車箱構造についての重みには、かなり大きい値を与えなければならないであろう。

重みの与え方を変えることにより、図 6, 7 に相当する過去データの類似度の分布ならびにそれによる推定結果がどのように変わるかを検討した結果の一例を図 9 から図 13 に示す。用いた重みは各々適当に与えたものであり、表 3 の A から E までに示されている。図 9, 10, 11 を比較してわかるように、重みの配分が変化することにより、過去のデータと今検討している事例との類似度の分布状態はかなり大幅に変化するが、分布が類似度 $P=1.0$ のところへ収束した縦軸の値にはほとんど変化が認められない。このことは、重みの値の配分はエキスパートが経験的に与えなければならないものであるが、その配分の詳細についてはそれほ

表 3 重み係数 K_n

	*	A	B	C	D	E
Field of application	1	1	2	0	0	0
Tooth mesh frequency	3	1	2	2	0	1
Transmitting load	3	1	2	2	0	0
Loading condition	2	1	1	1	1	1
Contact ratio	1	1	1	0	1	0
Gear accuracy	3	1	2	2	1	0
Tooth flank roughness	1	1	0	0	0	1
Gear box construction	0	0	0	0	0	0
[Mesh freq.]/[Natural freq.]	1	1	1	0	0	0

図9 重み係数の変更による[類似度] vs. [実績データ]の分布状態の変化と、現検討例に対する推定値(重み係数 K_n : 表3のA)

図10 重み係数の変更による[類似度] vs. [実績データ]の分布状態の変化と、現検討例に対する推定値(重み係数 K_n : 表3のB)

図11 重み係数の変更による[類似度] vs. [実績データ]の分布状態の変化と、現検討例に対する推定値(重み係数 K_n : 表3のC)

ど神経質にならなくても良いことを示している。しかし、図12, 13に示すように、あまりこれをいい加減にしすぎると、分布から類似度 $P=1.0$ のところへ収束した縦軸の値を決定できないことになる。

4. 結 言

経験ある人間がある物事について予測をしたりあるいは判断をしたりする場合には、ルール化された知識を参照してするのではなく、自分が持っている過去の経験的知識の中から似ているものを選び出し、それを単純に補間あるいは補外して行っているとの仮定に立って、その過程を再現するモデルを提案した。このモデルとは、まず、

- ①検討しようとする対象に対する影響因子を特定し、その内の非数値型因子の概念を階層化する、
- ②過去の事例をこの階層化概念により整理し、事例内

図12 重み係数の変更による[類似度] vs. [実績データ]の分布状態の変化と、現検討例に対する推定値(重み係数 K_n : 表3のD)

図13 重み係数の変更による[類似度] vs. [実績データ]の分布状態の変化と、現検討例に対する推定値(重み係数 K_n : 表3のE)

容のデータベースの構築した上で、
ある新しい予測や判断をしようとする対象が与えられたときには、

- ③その事例とデータベース中の過去の事例との間の類似度を、数値型影響因子については数値の比により、また、非数値型影響因子については、この階層化概念により検討し、
④類似度の関数としての検討対象量の分布状態より、今検討している事例についての値を推定する、ものである。

歯車装置振動問題について、この予測法を試みたところ、極めて良い精度で振動加速度の大きさが推定できることが明らかとなった。

エキスパートシステムにこの予測法を用いると、知識技術者の仕事は、検討対象とする量に対する影響因子の特定と、その内の非数値型因子の概念を階層化すること、および重みの設定となり、エキスパートが持つ個々の経験的知識をルール化するという困難な仕事

はもはや必要でなくなる。また、今までのエキスパートシステムでしばしば問題となるルールの競合は、この予測法のシステムでは決して起こらない。このシステムで問題となるのは、概念を階層化した内容の妥当性と、データベースの質と量である。

文 献

- (1) 科学技術庁編、知識ベースシステム、科学技術情報活動の現状と展望、8(1985)、152.
- (2) ヘイズロス、エキスパートシステム、(1986)、146/151. 産業図書.
- (3) 日本機械学会「RC 81 歯車装置の性能と把握に関する調査研究分科会」研究成果報告書、(1989-7).
- (4) 熊本・ほか 3 名、計測自動制御学会論文集、21-8(1985)、842.
- (5) 歌川、機誌、61-470(1958)、296.
- (6) 会田・ほか 3 名、機論、34-268(1968)、2254.
- (7) 久保・ほか 3 名、機論、38-314(1972)、2701.
- (8) 日本機械学会 RC-SC 38 研究成果報告書、(1977)、238.
- (9) 久保・清野、機論、46-401、C(1980)、86.
- (10) 梅沢・ほか 2 名、機論、49-441、C(1983)、794.
- (11) 日本機械学会 RC-69 研究成果報告書、(1986)、83-95.

討 論

〔質問〕 矢田 恒二〔オムロン〕

(1) 図 11 が他のデータと同じような推定値をもつのはピックアップした項目の数が少なくても重みをつけたからだと思われるが、表 3 の C の 2 を 1 の重みにしたらどうなるか。

(2) 文字形データの類似度をコード番号の階層で定めるとするのは面白いと思う。しかし階層の深さの程度はそれぞれをくくっている同じ深さの概念と横並びで見たとき同じレベルにあるとは限らないと思う。このようなことを考えたときの類似度 P への影響はどう考えればよいのか。

〔回答〕 (1) 重みのせいではなく、「かみあい周波数」、「伝達荷重」、「歯車精度」といった、シミュレーションによる歯車振動加速度の大きさを根本的に支配する因子を採用していたか否かによる。このことは表 3 の A と D、E の場合を比較していただいても、認めることができる。

(2) ルートディレクトリに相当する概念が異なれば、乗じる重み係数が異なるため、同じ深さのサブディレクトリの概念が異なっても結果に影響を及ぼさない。同じルートディレクトリに属するサブディレクトリの概念が同じ深さで著しく異なれば、結果に影響を及ぼすので、概念の階層化は十分慎重に行わねばなら

ない。

〔質問〕 滝 農彦〔石川島播磨重工業(株)〕

非数値形因子の扱い方に興味深いものがあり、得られた結果も素晴らしい。データの採取方法によってはかなり実用性の高いものになると考えられる。ついては次の 2 点を教えていただきたい。

(1) 歯車列や遊星歯車のような複合した歯車をうまく折り込むことができるか。

(2) 例えば表 3 の Gear Box などの各項目に、データがあつたり、なかったりするような、データが不ぞろいのときの扱いはどうに考えておられるか。

〔回答〕 (1) 原理的には、歯車列や遊星歯車のような複合した構造のものに対しても、この方法は問題なく適用できる。結果がうまくゆくか否かは、概念の階層化が適切にできているか否かと、データベースがどれほどしっかりしているかに依存する。

(2) 各項目にデータがあつたりなかったりするような不ぞろいのデータベースの場合、これらを統一的に扱うのは少し難しいと思う。恐らく抜けのないデータベースと、歯抜けのデータベースを別々に評価する必要がでてくるのではないかと思う。しかし本論文で提案している方法のデータベースの内、貴質問で問題となる「諸元・条件データベース」は、概念の階層化を

適切に行えば、少なくとも上位階層でのデータの抜けをほとんどなくするように構築できるのではないかと愚考する。

〔質問〕 灘 野 宏 正〔呉工業高等専門学校〕

歯車の振動予測に対する研究を興味深く拝見させていただいた。

(1) 図9～13に示された検討事例は図6か図7の場合のいずれの事例について検討されたものか。

(2) 過去のデータと検討事例に対する類似がない図7において $P=1$ の位置の推定値を決定する場合、図示されたプロット点の下方の漸近線のとり方により推定値が若干変わる。このような場合、シミュレーション計算を行わなければならないという不安が常に生ずるが、この点はいかがか。

(3) (2)に関連するが、データ量の不足の場合、

現実に即した歯車装置のダミーデータよりデータベースを増すのであれば、直接その事例についてシミュレーション計算するほうが効率的でないか。

〔回答〕 (1) すべてについて用いているデータベースは同じであり、対象としている事例は、図6のものである。

(2) ユーザが、どの程度の推定精度を期待するかにより、そのようなことが必要になる場合もあると思う。

(3) データベースが不十分であれば、根本的にこの方法は用いることができない。これは人間の知識と判断の場合と同じである。図8に見られるように、ダミーデータでデータ個数を増した分については、推定精度の向上があまり認められない。