自動車故障診断システム構築における知識集約法*

大塚 敬**・西田 眞**・一方井義也***

Knowledge Compilation and Refinement in Building a Car Diagnostic System*

Kei OHTSUKA**, Makoto NISHIDA** and Yoshiya IKKATAI***

The paper investigates a methodology on knowledge compilation and refinement after its acquisition through a process of car diagnostics on the case of abnormal noise and vibration. The knowledge compilation and refinement involve three basic steps; making knowledge hierarchic, finding useful features of knowledge, and designing a simpler decision tree. The better the useful features of knowledge are found, the better the decision tree is designed. This led to effective use of the domain knowledge obtained in cooperation with experts. In order to facilitate the actual fault diagnosis, the decision tree was designed by solving a combinatorial problem to minimize the number of total branches on each primary subset of classification. As a result of the knowledge compilation and refinement, the number of queries on the fault diagnosis was reduced by 83 to 88 percent and the error rate of diagnosis was 10 percent in comparison with the judgement of experts.

1. まえがき

故障診断システムの構築には、診断対象の十分な知識獲得が重要なポイントとなるが、知識獲得の後、得られた知識をいかに整理してシステム化するかという知識集約法も、効果あるシステム作りには欠かせない。本論文は、一例として自動車の騒音と振動に関する故障診断システムを開発していく過程の中で、簡潔な故障原因の特定に有効な知識集約法を研究している。

これまで、エキスパートシステム構築に関して、一般のアプローチが多く研究されてきたが³⁾⁻⁷⁾、知識集約法についての記述は少なかった。また、AI形の診断システムの研究例としては、医療診断や自動車故障診断のシステムがその代表であるが^{1),2)}、それらのシステム化の中でも、このような知識集約法はまだ議論されていなかった。しかし、最近では、知識ベースの知識集約の問題が

取り上げられ⁸⁾、不確実知識の改善、知識の整理、知識構造モデルの改良といった知識集約法に関連する研究も行われてきている⁸⁾⁻¹¹⁾。

自動車の故障診断において、故障原因を追求していく過程は、パターン認識において各種の状況を分類して認識していく過程によく似ている¹²⁾。しかし、パターン認識においても、対象によってデータの性質が異なるので、それぞれに適した具体的認識方法の検討がなされてきている。同様に、自動車の故障診断においても、対象によって、それに適した具体的方法の検討が必要である。とくに、自動車の故障診断では、教本というマニュアルがあり、故障の種類別に詳細な記述がなされているが、故障診断システムの構築に当っては、これらの記述を横断的に考察、検討し、知識を整理統合していかなければならない。そこで本論文は、パターン認識における分類法、認識決定法の基本的な方法論を参考にして、かつ、自動車の振動、騒音、エンジン異常音に対する故障診断の具体例を対象にして、このような故障診断システムに適する知識集約法を検討した。

この自動車故障診断システムの目的は、自動車整備工場におけるフロントマンのサポートを行うことにある。

* 原稿受付 1997年4月11日

** 秋田大学 工学資源学部 Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University; 1-1 Tegata-Gakuen, Akita 010-8502, JAPAN

*** 東北電力(株) Tohoku Electric Power Co., Inc; 5-15-6 Sanno, Akita 010-0951, JAPAN

Key Words: motorcar, fault diagnosis, knowledge compilation and refinement, decision tree.

現在、一般的な整備工場では、フロントマンと呼ばれる人々が配置されている。フロントマンは、自動車の調子の悪さを訴えてきた顧客に問診を行い、故障の状態や箇所など修理を行ううえで参考になる重要な情報を聞き出し、故障の原因を推定し、その情報を整備士に伝えている。

整備士は、その情報をもとに、点検を行い、車に詳しい推論を行い、最終的に故障箇所を特定して修理を行う。フロントマンの持つ、車に関する知識が豊富であれば、顧客からより的確な情報を引き出し、整備の効率向上や顧客へのサービス向上に結びつけることができる。そのためには、フロントマンの高いエンジニアリング能力が望まれるが、現状では、このような高度な知識を有するエキスパートの絶対数が不足して、このようなエキスパートをフロントへ配置することが困難になっている。

フロントマンの問診の効果は、膨大な故障原因空間を狭めることにある。フロントマンをサポートする故障診断システムを構築する場合に、自動車に関する知識獲得によって、膨大な故障原因に対して種々の問診が考えられてくるが、これらすべての問診を用いて故障原因を探すのでは、システムの複雑化が避けられない。そこで、当該故障原因を適確に探し出すために、獲得した知識を整理して、簡潔な故障原因追求過程を作り出し、これを基に効果ある問診を選び出すことが必要である。本論文では、このようなシステム化の過程で知識を整理統合していく方法を知識集約法と呼び、これを検討した。

本知識集約法における知識の整理統合化には、階層化、知識の低次元化、あいまいさを省いた2値分類化の方法を採用している。したがって、本知識集約法では、システム化に際しての知識の整理統合化の利点と共に、階層化における上位階層の重大な誤診断の発生、低次元化による情報量減少による認識率の低下、2値化分類による認識率の低下の欠点も生じる。このような知識集約法のトレードオフ問題は、適用対象ごとにその程度と解決方法が異なってくる。本自動車故障診断の研究では、教本というマニュアルをベースに、自動車の故障診断に有効となる知識の整理統合化を図っている。

ここで上記のトレードオフ問題の解決策として最も重要と考えられたことは、目的の自動車故障診断にできるだけ有効な分類項目を見いだすことであった。そこでまず経験知識の豊富な専門家の指導にあずかることはもちろん、実際の故障修理現場や、恒例の故障診断コンテスト等の見学も行い、自動車故障の物理的な判断力向上に努めた。そのうえで、マニュアルの記述のキーワード化を行い、専門家と協議しながら、有効な分類項目の選択を行っている。一方、システム故障がそのオンライン運用に重大な支障をもたらすオンライン故障診断システム

の場合には、むしろシステム情報の冗長設計により、システムの信頼性を高めることが重要である。しかし、本研究の対象は自動車の故障修理のためのオフライン故障診断システムであり、たとえ本システムが誤診断した場合でも整備士の点検で、誤診断であったことが正確に確認できる。したがって、このような場合には、改めてこの誤診断情報を入力して、再度故障診断をやり直す実行システムとしている。本研究におけるこれらのトレードオフの評価は実験で示している。

2. 知識集約法の基本

パターン認識においては、まず階層的な分類法がよく用いられている^{4),5),12),13)}。階層的に行うことによって、各階層においてより簡単な分類法を用いることができる。また、階層ごとに特徴のある分類が行えるので、全体としての分類の精度が向上する¹²⁾。故障診断システムの知識集約法としても、まず重要なのは故障診断過程の階層化である。幸い、故障診断においては、医療関係の診断にしろ、自動車等の故障診断にしろ、医学書あるいは教本といったマニュアルがあり、病気の種類別あるいは故障の種類別に分類されて、詳細な説明がなされている。しかしながら、これらの分類とその記述は、必ずしも統一化されておらず、階層化に当っては、これらの分類の横断的な考察と検討が必要になる。階層化によって各階層における分類に用いる故障の徴候の数と故障原因の数も低減させることができ、各階層ごとの分類法も簡単化され、容易になる。このような理由で、故障診断システムの構築の際の知識集約法の第一としては、知識の階層化を考えねばならない。

階層化における留意点は、階層の上位で犯した誤診断は、その回復が困難となる点である。したがって上位レベルにどのような分類項目を配置するかを慎重に検討しなければならない。有効な分類項目を見いだすには、数値統計的方法よりも物理的考察方法による方が優るといわれている¹³⁾。したがって、階層化にあたって各階層の分類項目を検討する際には、物理的観点からの検討と、専門家との協議を十二分に行っていくことが重要である。

上述のごとく、医療関係や自動車等の診断に関する医学書や教本の中の分類は、必ずしも診断システムの構築に便利なように構成されていない。そこで、各階層における分類の前に、その階層に関する獲得知識を整理集約し、低次元空間に写像してから、分類を行うことが有効である^{15),16)}。この前処理は、この分類方法の簡易化に有効であることの他に、分類精度の向上にも有効であることが理論的に示されている¹⁷⁾。また、その階層の故障分類に充分でかつ有効な徴候に整理統合することになるので、この知識の整理集約にも、故障診断に対する物理

的な判断が必要とされる。したがって故障診断システム構築における知識集約法の第二としては、各階層における知識整理統合化、すなわち、知識低次元化を考えていかなければならない。

低次元化における留意点は、低次元化により部分的に情報が失われる点である。この情報が本当に不要として差支えないかの点についても、専門家と協議し、物理的に深く考察していくことが必要である。

各階層における具体的な分類方法には、簡易で有効な方法が望まれる。そのため、分類のための決定木の構造設計が研究されてきた^{18),19)}。分類の簡易化のためには、YES, NO, 不明の3値木構造よりも、YES, NO のみの2値木構造が有効である。また、分類の効率化のためには、どの順序で分類していくか、すなわち、木構造が直接その効率に関連してくる。したがって、決定木の構造設計の研究では、徵候選択と決定ルールとを一体に行っている例も多い²⁰⁾。さらに、一般のパターン認識では、統計的確率的識別関数が各階層の分類に用いられることが多い^{12),21)}。故障診断の場合には、複合故障の場合を除き、各故障は独立であるので、ディジタル的な2値識別関数を用いる方が自然である。したがって、故障診断における各階層の分類方法としては、2値パターンを用いた簡単な決定ルールを適用することが有利である^{22),23)}。以上から、故障診断システム構築の際の知識集約法の第三としては、各階層における分類の木構造計画と分類ルール設計を考えていかなければならない。

木構造計画において2値分類を採用する場合の留意点は、あいまいな分類が残されず、認識率の低下が生じる可能性もあるということである。一方、多値分類を採用する場合には、残されたあいまいな分類を別の角度から明確化する必要がある。この一つの有力なアプローチがFuzzy的な決定木構造化の方法である²⁶⁾。本研究のオフラインの故障診断システムと異なり、オンライン故障診断システムでは、システムの各要素故障に対して十分ロバストでなければならない。このため重要な要素やサブシステムには、“冗長”設計が行われる。そのうえでそのシステムオペレータのシステム監視が併用される。オペレータの経験知識はシステムが複雑で大規模化すればするほどあいまいでFuzzy的になる。Fuzzy的な決定木構造化は、これら人間の経験知識による意思決定をFuzzy理論を適用して定量化を図る方法で、特に複雑で大規模なシステムにおいて適用可能性が高い。また、情報不足で故障原因の特定が難しく、あいまいとして取り扱わねばならぬ場合にもFuzzy的な決定木構造化が有用である。しかし本研究の対象はオフラインの自動車故障診断システムであり、たとえ本システムが誤診断した場合でも、整

備士の点検でその誤診断が正確に確認できるので、故障診断のあいまいさを極力排除してシステムを単純化することに力点を置いたので、Fuzzy的な取扱いとは適用しなかった。

パターン認識の分野では、このほか、分類の容易さのみでなく、分類に用いられる特徴の検出コストを考慮したパターン認識全体のコストを考慮する研究もなされている²⁴⁾。しかし現状の故障診断においては、教本があるので、これを基にして故障診断システムを研究していくのが有効であると判断される。

3. 自動車故障診断システムにおける知識集約

自動車の故障診断システムの構築に必要な知識獲得は、各ディーラー系整備工場の教本から行うことができる。この教本は、その工場の整備士の育成とその能力向上のために作られたものである。今回の自動車の騒音と振動に関する故障診断システムの構築に必要な知識は、この教本の振動と騒音とエンジン異常音の部分を重点的に参照することで、獲得することができた。

教本は禁転載であり、内容を例示することはできないが、この教本の記述方法は、一般医学書において病気の種類別に分類記述されているものと同様に、まず振動、騒音、エンジン異常音等に大分類され、その大分類の中で、その振動あるいは騒音の種類別に中分類されて記述されている。それらは、その状況（フィーリング）、発生条件、発生メカニズム、主な原因、その他特記事項に分けて、詳細に文章で記述されている。しかし、このままの知識構造で故障診断システムを構築すれば、システムの処理速度、記憶容量の点に問題が生じる。そこで、2.で示した知識集約法の基本である(1)知識の階層化、(2)知識整理統合化、(3)分類の木構造計画と分類ルール設計の考え方に沿って、自動車故障診断システムの構築の際の知識集約法を、具体的に検討した。(1)の知識の階層化においては、教本の記述は、まず振動、騒音、エンジン異常音に大分類されているので、第1階層にはこの分類がそのまま利用できた。しかし教本は、一つ一つの振動あるいは騒音の種類を詳細に説明することに力点が置かれ、それぞれの記述の間に協調がとられていない。したがって、第2以降の階層には教本の中分類以降の分類は、そのままでは利用できなかった。そこで、第2以降の階層化は一時保留し、(2)の知識整理統合化を並行して検討することとした。教本では振動あるいは騒音の種類の説明を文章で記述している。そこで、これらの故障種類の特徴を横断的に考察するために、特徴項目をキーワード化²⁵⁾、関連性のあるもの同志をあつめてグループ化

した。続いて、これらのキーワードをさらに整理統合し、当該故障種類の分類、識別に十分な新しいキーワード化とグループ化を行った。

この特徴項目のグループ化の良否が、後続する木構造設計の決定木の良否に関連する。そこで特徴項目のグループ化にあたっては、対象システムを物理的に十分認識することが重要である。本研究では、専門家の指導にあずかることはもちろん、実際の故障修理の現場や、恒例の故障診断コンテストの見学等も行い、事前にシステムについての経験知識の獲得に努めた。そのうえで、専門家と協議しながら特徴項目のグループ化を行った。

これで(2)の知識整理統合化が終了した。一時保留していた階層化は、これらのグループを基に行うが、その階層順序は、この時点では決められない。そこで(3)の分類の木構造計画と分類ルール設計を並行して検討することにした。ここでは、当該故障種類の分類、識別に十分で、かつ、できるだけ簡潔な木構造とすることを目標にした。簡潔な木構造は、各枝において以下の枝が独立で、項目の重複がない。そこで、以下の階層ができるだけ独立で項目の重複がないように、階層順序を決定した。その際に、故障種類あるいは故障原因とその状況の関連表を用いることで、階層順序決定を組織的に行うことも検討した。

分類問題を対象とした決定木の構築には、各種の機械学習の方法も提案されている。これらの中で、故障診断システムに最も関連する技法は、Hunt²⁷⁾、Quinlan²⁸⁾等の、データをいくつかのクラスに分類する決定木自動生成法である。この方法の有効性は、最終的に分類するクラスが少ない場合(簡単の場合は2クラス)で示されている。しかし本研究を含め、一般の故障診断システムの場合は、最終的に分類するクラスは故障原因の数だけ必要となり、その分類するクラスの数、それぞれ独立で、多量になる。参考文献27)、28)の方法は、このような互いに独立なクラス分類の場合は、そのアルゴリズム効果が失われる。また、Bryant²⁹⁾の論理関係をBDD(Binary Decision Diagram)で表現する二分木生成法も著名であるが、これも主として論理回路生成を目的としているので、最終分類クラスは一般に限定される。

そこで、本研究では、以下の階層ができるだけ独立で、項目の重複のない簡潔な木構造を、次のような方法で求めた。

$$\begin{aligned} A &= \{a_i\}, i=1, \dots, imax: \text{中分類項目集合} \\ B &= \{B_i\}: A \text{ に対応する小分類項目集合} \\ B_i &= \{b_{ij}\}, j=1, \dots, jmax(i): a_i \text{ でクラスタ化された } B \text{ の部分集合} \end{aligned}$$

$$C = \{c_k\}, k=1, \dots, kmax: \text{故障原因集合}$$

$$cRb: \text{因果関係}$$

$$Dl = \{d_{li}\}: A \text{ から導かれる一つの順列集合},$$

$$l=1, \dots, lmax, lmax = imax!$$

$$Fl = \{F_{li}\}: Dl \text{ に対応する } B \text{ の一つの順列集合}$$

$$Fli = \{f_{lim}\}, m=1, \dots, mmax(l, i): d_{li} \text{ でクラスタ化された } F_l \text{ の部分集合}$$

$$Gl = (V_l, E_l): \text{階層順序を } dli(i=1, \dots, imax) \text{ とし, } cRb \text{ の関係のもとに求められる階層木}$$

$$Vl = \{V_{li}\}: G_l \text{ のノード集合}$$

$$Vli \equiv \{f_{lim}\}: V_l \text{ の部分集合}$$

$$El = \{E_{li}\}: G_l \text{ のブランチ集合}$$

$$Eli = \{e_{lin}\}, n=1, \dots, nmax(l, i): E_l \text{ の部分集合}$$

簡単な木構造は、階層木のブランチ数最小として、次式で求められる。

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^{imax} nmax(l, i) \\ \text{sub.to } G_l = (V_l, E_l) \end{aligned}$$

今回は、階層数となる中分類項目数が少なかったため、各大分類項目ごとにすべての組合せを調べることににより、本組合せ最適化問題を解いた。組合せ数は、中分類項目の階乗でよい。中分類項目が多い場合には、本組合せ最適化問題の解法にはSAやGAの適用が有力であろう。

また、前述のグルーピングを、木構造設計の立場から再検討することで、さらに簡潔な木構造を設計した。また、グルーピングの際の分類項目の中には、教本に記述があるので分類項目として選択されたが、木構造設計には不要な項目もあるので、木構造設計の段階で、これらが階層項目として本当に必要であるかもチェックし、簡潔な木構造化を図った。このように(3)の木構造設計を並行して行うことによって、(1)の知識の階層化も終了した。

以上、ここには、本研究の自動車診断システムを対象にして展開した知識集約法を記述した。一般的な故障診断の場合も、分類を必要とする故障原因は、互いに独立でその数も多くなる特徴があるので、本知識集約法が適用できる。(本研究の自動車故障診断では、オフラインシステム構成を考えているので、オンラインシステム構成を必要とする故障診断の場合は、本知識集約法に加えて、冗長化システム構成も考慮する必要がある。)ここで検討した知識集約法をまとめると、

- (a) 故障原因を初めから細分化したものを考えず、故障原因空間を大別して、階層的に故障原因空間を階層的に狭めてゆく、システム構造とすること

- (b) 大別された個々の分野の知識をキーワード表現し、できるだけ集約したキーワードにあつめること
- (c) 関連あるキーワードをグルーピングし、階層化における分類項目とすること
- (d) この際、物理的観点からの検討と専門家との十分な協議によって、故障原因の識別にあいまい性を極力排除した有効な分類項目を選定すること
- (e) 集約したキーワードを基に、原因と状況との関連表を求め、この表に基いて、最も簡潔に原因を特定する決定木構造を検討する。すなわち、分類項目の階層順序を考察すること
- (f) 簡潔な木構造とするために、階層順序は、以下の階層ができるだけ独立で、項目の重複がないように決定すること
- (g) この決定問題は、各大分類項目ごとに組合せ最適化問題として記述できる。この問題の組合せ数は、中分類項目の階乗となる。したがって中分類項目が少なければ、すべての組合せを調べることで容易に解くことができる
- (h) あいまいであるが多角的な人間の故障診断能力を併用してシステム化する場合や、故障原因の識別にどうしてもあいまいさが多く残る場合には、Fuzzy 的決定木構造化などの適用も有効である
- (i) 誤診断が発生した場合や、診断にあいまい性の残る場合には、故障診断の実行過程の反復など別の角度から対策を併用することである。

4. 知識集約結果

このような知識集約法によって得られた自動車の振動、騒音、エンジン異常音に関する知識集約結果を以下に示す。

自動車から発生する振動については、教本では、種類別に、その状況（フィーリング）、発生条件、発生メカニズム、主な原因、その他特記事項に分けて、文章で説明されているが、それをキーワード化して横断的に考察すれば、これらは大きく複数の側面（「走行時の路面」、「発生時点」、「振動箇所」、「振動のもつフィーリング」）で分類することができた。これを Table 1 に示す。続いて、これらのキーワードをさらに整理統合して、これら振動の分類識別に十分な新しいキーワードにあつめたものを Table 2 に示す。この Table 2 に基づいて、振動分類の決定木構造設計を行ったが、階層順序を、「発生する時点」、「振動箇所」、「フィーリング」の順序とすることで、簡潔な木構造が設計できた。これを Fig. 1 に示す。ここで、発生する時点の階層をさらに「定速走行中」、「定速走行時以外の時」に分割し、二つの階層とすることで、

Table 1 Items classifying car vibration

特徴となる言葉	分類した項目			
	路面に関する事	発生する時点	振動箇所	フィーリング
特徴となる言葉	高速道路 良い道路	特定の車速 40~70km/h 80km/h以上の高速	ボデー ステアリングホイール ダッシュパネル シート	上下に振動する 左右に振動する 回転方向に振動する
	路面の小さな凹凸 路面の凹凸 道路の継ぎ目、段差	比較的限定した車速 20~60km/h 比較的低い車速 停車から発進した時 半クラッチ時 中速又は高速 アイドリング時 加減速走行時 低~高速走行時 ブレーキ時	エンジンフード ブレーキペダル シフトレバー アクセルペダル	前後に振動する 振動の脈動が伝わる 衝撃的な振動 ブルブルと振動する 顕著に振動する 振動がだんだん大きくなる 回転方向の不快な振動

Table 2 Refinement of items classifying car vibration

特徴となる言葉	分類した項目			
	路面に関する事	発生する時点	振動箇所	フィーリング
特徴となる言葉	凹凸の少ない道路 凹凸のある道路	低速走行時 中速走行時 高速走行時 ブレーキ時 アイドリング時 クラッチミート時 発進、加速時	ボデー アイドリングホイール ペダル系 シート シフトレバー	上下左右方向の振動 回転方向の振動 衝撃的な振動 一定の振動 大きくなる傾向の振動

Fig. 1 Decision tree to classify causes of car vibration

簡潔な木構造とした。また、Table 2 の路面に関する事という分類項目は、振動種類のハースシュネスのみに関連するので、階層項目から削除した。

自動車の騒音に関しても、同様の知識集約法が適用できた。これにより得られた決定木構造を Fig. 2 に示す。騒音関係は、Table 2 のごとく、最初の分類項目に、「路面に関する事」を選択することで、以下の階層を独立にすることができた。したがって、次の階層では、一方は「車速等」、他方は「音の種類」と、別々の分類項目を独立に選択することができ、簡潔な木構造とすることができた。

Fig. 3 Decision tree to classify causes of car noise from engine part

作業によって、より容易にその原因が特定できることになる。

以上で、自動車の振動、騒音、エンジン異常音の原因を特定する簡潔な決定木構造が設計できた。実際の故障診断システムとするためには、これらの決定木構造から、有効な問診を考え出さなければならない。問診の形式としては、ある問診を行い、その結果によって点検を行い、その結果を基に、さらに詳細な問診を行っていくフィードバック形問診形式も考えられるが、今回の故障診断の対象が振動、騒音、エンジン異常音の部分であり、それらの決定木に用いられている大項目、中項目、小項目が共通、あるいは類似の項目が多いので、それらの項目と直接対応のつく次の問診を選出した。

- 振動，騒音，異常音の発生する路面状況はどうか
- 発生時の速度はどれくらいか
- 振動等の起こる箇所はどこか
- 色々な条件下で，振動等の変化はあるか
- 振動等の，フィーリングはどのようなものか

実際の故障診断システムの流れは、次のようである。フロントはこれらの問診に対する回答をシステムに入力する。システムは、振動、騒音、異常音の決定木に基づいて原因の推論を行い、その結果を出力する。この結果が、整備士に提示される。整備士は、その箇所に関する標準点検作業を行っていくが、点検の結果、その箇所に異常がなかった場合には、予想した原因ではなかったことをシステムに入力する。システムは再び原因の推論を行って、次の点検箇所を提示するようになっている。

5. 知識集約法の検証

この知識集約法の検証には、知識集約をしなかった、知識獲得しただけのものとの差異について評価、検討するのが望ましい。しかし、本研究の知識獲得は教本によって行っており、教本は故障の種類別に分類、記述されているので、このままの知識構造の故障診断システムは、後向き推論形になる。一方、本研究の知識集約法で得られるシステムは、前向き推論形である。両者を構築して、直接比較評価するのが望ましいが、かなりの困難が伴うので、今回は次の考察にとどめた。

知識集約の目的は、システムの複雑化を避け、問診の数を減らすことにある。当然、本研究のシステムの方が知識が集約整理されているので、処理速度、記憶容量の点で効率は良い。また、問診の数は、教本と本システムの場合で単純に比較すると Table 6 となり、知識集約が問診の集約整理にかなり有効であることが示された。

Table 6 Numerary comparison of questionnaires

	振動	騒音	異常音
教本	37	29	42
システム	5	5	5

一方、知識集約した場合の問題は、集約し過ぎ、あるいは集約誤り等によって、これを用いた故障診断システムが常識的でない誤った診断をしてしまわないかということである。そこでこの点を過去の事例を用いて検証することにした。

実際ユーザから、過去 2 年間で申告のあった事例、および毎年実施される故障診断コンテストの設問等の中から本研究に關係する障害が発生しているものを抽出したところ、20 例しか存在しなかった。そこでこれらの事例を用いて検証を行った。

一例を示すと、ユーザからの訴え「50-60km/hでの減速時に、後方より“クー”と甲高い音がするという場合、本システムの判断はディファレンシャルギヤのうなり音」であり、また、この訴えに基づいて教本による診断を行ったところ、システムの判断と同一の回答を得ることができた。このような20の事例に対して、教本の判断と同等の回答が得られたものは17例であった。今回の検証において得られた回答が教本と違っていったものが3例あったが、そのうち1例は整備士と同一の判断結果だった。これは教本からの知識集約と専門家である整備士から得られた情報をもとに作成したシステムであるため教本では判断のつけられなかった事例に対し、回答を得ることができたものと考え、したがってこの知識集約法によ

て構築した，故障原因を特定する決定木は，比較的整備士のものに近いと判断した。

また，その他の2例は，振動と思って原因を追跡したが，騒音であった場合と，その逆の場合の例であった。この結果から，自動車の振動と騒音とエンジン異常音は，互いに関連するものがあるので，このシステムとしては，この関係を特定する最上層の決定木が欠けていることがわかった。これは，本システムの知識獲得の基礎になった教本にこの振動，騒音，エンジン異常音の関連についての記述が欠けていたことによる。したがって，この原因は，知識集約法というよりは，知識獲得の問題であり，今後これに関連する知識獲得を行って，最上層の決定木を検討していくこととした。

6. あとがき

故障診断に関して得られる知識は，故障診断システムを構築する立場からは，必ずしも有効なものばかりではない。したがって，故障診断システムを構築する場合には，簡潔で有効なシステムを構築する観点から，獲得知識を有効な知識に集約していくことが必要であり，本文は，これに関する知識集約法を研究した。ここでは，パターン認識における分類法，認識決定法の基本的な方法論を調査し，自動車の振動，騒音，エンジン異常音に対する故障診断の具体例への適用性を検討しながら，このような故障診断システムに有効な知識集約法を具体的に研究した。

大規模な故障診断システム構築には，本研究例よりさらに多くの知識を取り扱うことになるが，大規模システムを取り扱う一つの有力な方法は，システムを階層的に分割し，各サブシステムごとにシステムを構築して，おのおのを集積していく方法である。したがって本研究の知識集約法の基本的な方法論は，これら各サブシステムの構築に際しても，十分参考にしようと考えている。

最後に，本研究の機会を与えて下さり，貴重な御指導，御助言を下された秋田トヨベツト（株）総務部田中道生次長，サービス部渡部正人氏，斉藤充広氏その他の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高橋：自動車の故障診断システム；オートメーション，Vol.32, No.1, pp.64-70 (1987)
- 2) 津村：健康診断領域における知識処理システムの開発；人工知能学会誌，Vol.9, No.3, pp.400-407 (1994)
- 3) P.K.Fink et al.：A general expert system design for diagnostic problem solving；*IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.7, No.5, pp.553-560 (1985)
- 4) B.Chandrasekaran：Generic tasks in knowledge-based reasoning；*IEEE Expert*, Fall, pp.23-30 (1986)
- 5) N.H.Narayanan et al.：A methodology for knowledge acquisition and reasoning in failure analysis of systems；*IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, Vol.17, No.2, pp.274-288 (1987)
- 6) E. Turban：Review of expert systems technology；*IEEE Trans. on EM*, Vol.35, No.2, pp.71-81 (1988)
- 7) R.Leitch et al.：Task classification for knowledge-based systems in industrial automation；*IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, Vol.22, No.1, pp.142-152 (1992)
- 8) G.D.Tecuci：Automating knowledge acquisition as extending, updating, and improving a knowledge base；*IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, Vol.22, No.6, pp.1444-1460 (1992)
- 9) S.Kobayashi et al.：Knowledge compilation and refinement for fault diagnosis；*IEEE Expert*, October, pp.39-46 (1991)
- 10) 松坂：コーパスからの知識獲得における領域知識の軽減化；電気学会論文誌C，Vol.114, No.11, pp.1122-1127 (1994)
- 11) 曾我：システム計画における構造モデル作成支援方式；電気学会論文誌C，Vol.114, No.11, pp.1128-1133 (1994)
- 12) J.Mui et al.：Automated classification of nucleated blood cells using a binary tree classifier；*IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.2, No.5, pp.429-443 (1980)
- 13) L.N.Kanal：Problem-solving models and search strategies for pattern recognition；*IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.1, No.2, pp.193-201 (1979)
- 14) M.Nadler：Error and reject rates in a hierarchical pattern recognizer；*IEEE Trans. on Commun.*, Vol.19, pp.1598-1601 (1970)
- 15) M.W.Kurzynski：The optimal strategy of a tree classifier；*Pattern Recog.*, Vol.16, pp.81-87 (1983)
- 16) P.H.Winston：Artificial Intelligence, Addison-Wesley, 2nd ed. (1984)
- 17) G.F.Hughes：On the mean accuracy of statistical pattern recognizers；*IEEE Trans. on Inform. Theory*, Vol.14, pp.55-63 (1968)
- 18) P.Argentiero et al.：An automated approach to the design of decision tree classifiers；*IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.4, pp.51-57 (1982)
- 19) S.R.Safavian et al.：A survey of decision tree classifier methodology；*IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, Vol.21, No.3, pp.660-674 (1991)
- 20) E.M.Rounds：A combined nonparametric approach to feature selection and binary decision tree design；*Pattern Recog.*, Vol.12, pp.313-317 (1980)
- 21) A.Rege et al.：Topological framework for representing and solving probabilistic inference problems in expert systems；*IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, Vol.18, No.3, pp.402-414 (1988)
- 22) Y.Ishida et al.：A topological approach to failure diagnosis of large-scale systems；*IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, Vol.15, No.3, pp.327-333 (1985)
- 23) K.Downing et al.：Causes to clauses: managing assumptions in qualitative medical diagnosis；*Artificial Intelligence in Engineering*, Vol.3, No.4, pp.192-199 (1988)
- 24) G.R.Dattatreya et al.：Bayesian and decision tree approaches for pattern recognition including feature measurement costs；*IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.3, pp.293-298 (1981)
- 25) 川喜田：発想法，中公新書，中央公論社 (1967)
- 26) P.Gmytrasiewicz et al.：Fault tree based diagnostics

- using fuzzy logic; *IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.12, No.11, pp.1115-1119 (1990)
- 27) E.B.Hunt et al. : *Experiments in Induction*, Academic Press (1966)
- 28) J.R.Quinlan, : Induction of decision trees; *Machine Learning*, Vol.1, pp.81-106 (1986)
- 29) R.E.Bryant : Graph-based algorithms for Boolean function manipulation; *IEEE Trans. on Comput.*, Vol.C-35, No.8, pp.677-691 (1986)
-