

平成 8 年度 修士論文

事例ベースを援用した知識洗練機能付
診断エキスパートシステムの開発

専攻名 土木工学専攻

学籍番号 55-005

学生氏名 佐藤 茂

目 次

第 1 章 序論

- 1.1 人工知能と知識ベース・システム
- 1.2 知識ベース・システムの開発における問題
- 1.3 本研究の目的と範囲

第 2 章 プロダクションシステム

第 3 章 不確定な知識の取り扱いとその更新手法

- 3.1 Dempster&Shafer 理論による方法
 - 3.1.1 基本確率
 - 3.1.2 上界確率・下界確率
 - 3.1.3 統合規則
- 3.2 MYCIN の確信度による方法
- 3.3 ファジィ推論による方法
- 3.4 事例ベース推論による方法

第 4 章 知識ベースの更新手法

第 5 章 提案する知識洗練機能付エキスパートシステム

- 5.1 概要
- 5.2 仮説と仮説間の関係の数値表現
- 5.3 推論アルゴリズム
- 5.4 知識洗練アルゴリズム

第 6 章 適用した知識ベースと推論結果

第 7 章 単独の事例情報を用いた推論

第 8 章 既存システムの推論結果を利用したルールベース洗練

- 8.1 提示された事例のみのルールベース洗練
- 8.2 複数の事例を同時に提示したときのルールベース洗練

- 8.2.1 損傷の情報を考慮せずにすべての教師データとした場合
- 8.2.2 診断場所の等しい教師データを用いた場合
- 8.2.3 診断場所の異なる教師データを用いた場合
- 8.2.4 逐次的に教師データを用いた場合

第9章 教師データを離散的に表現し提示したときのルールベース洗練

結論

謝辞

参考文献

付録

第 1 章 はじめに

1. 1 人工知能と知識ベース・システム

人工知能(Artificial Intelligence:以後“AI”と称する)研究の起源は、1956年のダートマス会議にあると考えられている。会議に参加した M. Minsky, J. McCarthy, A. Newell, C. E. Shannon, H. A. Simon らが、はじめて“AI”という用語を発表し、提唱したからである。そして、この会議以降、様々な分野において AI 研究の中心となる人物が集まった会議であったからである。

AI とは、知的な計算機システムの設計に関係した計算機科学の一分野である。知的な計算機システムとは、人間が一般に行っている知的活動(例えば、言語理解、学習、推論、問題解決)をコンピュータに代行させるシステムを示している。しかし、人間の思考の複雑さ、問題解決における不明確さ等により、一時的に研究は停滞した。その後、対象とする範囲を狭めて研究されることとなった。例えば、定理の自動的な証明、チェスなどのゲームのプログラム作成などがあたるが、未だ注目を集める研究には至らなかった。AI 研究の起源から数十年が過ぎ、AI 研究は二つの観点から研究が行われるようになった。

一つは知的な機械を創作するための概念、理論および実現手段を考える観点であり、他の一つは人間・その他の動物の知的行動の理解の手助けとなる概念や用語を創作する観点である。ここに、前者の観点を核とした学問としての知識工学(Knowledge Engineering)及び、後者の観点を核とした学問としての認知科学(Cognitive Science)が形成されたのである。本研究で取り扱う学問分野は前者の知識工学の応用分野である。

1977年の第5回人工知能会議において Feigenbaum がはじめて知識工学という用語を用い、応用という観点から AI 研究を見直し、その実際面からの効用またはその実現の可能性について言及したことから、知識工学は始まったと言われている。知識工学の分野で最も実用化の試みが活発に行われて来たのは、知識ベース・システム(Knowledge Based System: “KBS”と略される)またはエキスパートシステム(Expert System: “ES”と略される)である。知識ベース・システムとはコンピュータに移植された専門家の知識、考える能力を用いて、専門家と同等な判断や決定を行うシステムである。したがって、システムの主要構成要素の観点は、ある特定なルールを収集した知識データベース(Knowledge Data Base 通常、知識ベースと呼ぶ)またはルールベース(Rule Base)及び、AI 技術を取り

入れた推論機構であり，エキスパートシステムはこれらを基本構造として持った意志決定支援システムであると言える。

1. 2 知識ベース・システムの開発における問題

知識ベース・システムを開発する上で問題とされる課題は，様々考えられているが，重要とされている課題は，以下の4つとされている。

(i) エキスパートの探索

(ii) エキスパートの知識抽出

(iii) 抽出した知識の加工と知識ベースの作成

(iv) エキスパートの判断を代行できる推論機構の作成

まず，エキスパートの探索については，世の中にエキスパートと呼ばれる人材が不足している点が挙げられる。エキスパートとは，一般に，長い間実務を経験してきた人の中に存在するとされている。しかし，長い間実務を経験した人であれば必ずエキスパートになりうる能力を持つとは限らない。また，長い間そのような能力を持っているとしても，限られた領域の中でのエキスパートであるため，それ以外の領域での問題に対処が困難となり，判断の信頼性が低下する。更に，広い領域の能力を持ったエキスパートが運よく見つかった場合でも，そのエキスパートが客観的に知識を提供できる人であることも，質の良いエキスパートシステムを構築する上で重要な点である。したがって，エキスパートを探し出すためには，まず対象とする問題領域を整理し，その領域の知識を持ったエキスパートを探索することに勤める必要がある。望ましいエキスパートの十分な協力を得るためには，開発する知識ベース・システムの有効性について十分に説明し，十分納得をしてもらうことが重要である。

知識の抽出方法としては，アンケート用紙を作成し，そのアンケートに記載してもらう方法と，エキスパートと対話しながら知識を聞き取る方法が良く用いられている。しかし，エキスパートは，複雑な問題が提示されたとき直感的に問題を解決することが良くある。このような直感的な知識または無意識的な知識を“深い知識(Deep Knowledge)”と呼ぶ。このような深い知識を抽出することは，非常に困難であり，不可能に近い。しかし，反対に外面的あるいは教科書的な知識であるいわゆる“浅い知識(Shallow Knowledge)”と呼ばれる知識は，抽出しやすい。この浅い知識は，外面的，教科書的な知識のことを示す。

外面的，教科書的な知識の抽出された知識の整理・加工するには，“知識技術者(Knowledge Engineer)”と呼ばれる人材が一般に必要とされる。現在，少なくとも工学における応用分野に限れば，エキスパート自身が

AI に向けたシステム言語を学び、システム開発を行う傾向が強くなり、その負担は非常に大きい。

エキスパートの判断を代行する推論機構では様々研究されている。推論方法の種類は、演繹的推論、発見的推論、帰納的推論、に分類することができるが、対象領域の知識体系に適合した推論手法の開発が、実用化をすすめる上で重要な課題であろう。

1. 3 本研究の目的と範囲

上述のことから、知識の獲得における問題とされるエキスパートの探索、知識の抽出、抽出された知識の整理・加工にかかる時間と労力の軽減方法の研究が盛んに研究されており、その成果として、知識獲得支援ツールが開発されている。知識獲得支援ツールは、コンピュータと人間とが対話しながら、人間の持っている知識を抽出し、コンピュータがその抽出された知識を一定のルールその他の表現で整理・加工を実行することにより、容易に知識ベースを作成する支援システムである。この支援システムを用いることにより、知識獲得の手間と時間は省くことができる。

その他の知識獲得方法としては、最初から知識ベースを構築するのではなく、豊富に存在する既存システムの知識ベースを再利用する方法である。

本研究は、知識獲得の手間と時間を軽減するため、再利用した知識ベースを用い推論する推論機構を提案し、また既存システムの知識ベースを再利用するのみではなく、既存システムの推論結果を用い再利用した知識ベースを洗練することにより既存システムと同等な知識ベースを構築する機能を付加した。本推論システムの検討課題を以下に示す。

- (1) 既存システムの知識ベースを移植し、移植した知識ベースからの仮説推論
- (2) 既存システムの知識ベースを全て移植後、既存システムの推論結果から移植した知識ベースをの洗練(単一の推論結果を提示する場合)
- (3) 複数の既存システムの推論結果を同時に提示し、移植した知識ベースの洗練
- (4) 複数の既存システムの推論結果を逐次的に提示し、移植した知識ベースの洗練
- (5) 複数の既存システムの推論結果を離散的な値へ変換し同時に提示し、移植した知識ベースの洗練(5分割または7分割の場合)

本論文は、第1章から第9章で構成している。第1章は序論、第2章

は、知識ベース・システムに用いられる知識表現と推論方法、第3章は活発に研究されている推論方法と知識ベース更新方法である。また、第4章で本推論システムの推論機構を示し、第5章に本推論システムに適用した知識ベースと推論結果を示し、第6章、第7章は適用した推論結果と知識ベース洗練の基礎的な考察。更に、第8章では、既存システムの推論結果を5分割または7分割にして提示し知識ベースを洗練の結果を示す。最後に、第9章を結論とした。

第2章 知識表現と推論方法

知識とは，“認識によって得られた成果”であり“広義では，事物に関する個々の断片的な事實的・經驗的認識の意”と広辞苑で定義されている．AI 研究，知識工学的な分野では，“知識とは，推論の過程で利用あるいは参照される形式化された情報である”と定義されている．つまり，入力として与えるデータから推論によって，結論を導き出す処理において参照される情報が，知識となる．知識は，事実と規則(ルール)の二つに分類することができる．事実は宣言的知識と呼ばれ，「～は…である」という静的な情報を示すものである．また，規則は，手続き的知識と呼ばれ，「***なら---である」という条件と結論で示すものである．したがって，知識表現とは，これらの知識を知識ベース・システムに利用するため，事実と規則を一定の形式に符号化し，知識ベースに蓄積する手法を示す．知識表現には，種々の表現形式が提案されており，プロダクションルール，フレーム形式，意味ネットワーク，述語論理による表現，ファジィ集合を用いた表現がある．

2.1 プロダクションシステム

プロダクションルールによる知識表現は古くから用いられてきた手法である．条件部と結論部の関連を容易に表記することができるため広く用いられてきた．表現形式は，通常 IF A THEN B となる．A は予測される条件部を示し，B は条件部から判断される結論部を示す．このように規則的に表現された知識ベースをルールベースと呼ぶことがある．

プロダクションシステムの長所は，知識が規則的に表現されていることからルールベースを構築し易く，ルールの追加または蓄えられているルールの更新が容易であることである．このルール表現を用いて構築されたシステムのことを通常，プロダクションシステム(または，ルールシステム)と呼んでいる．

プロダクションシステムにおける推論方法には，前向き推論(Forward Reasoning)，後ろ向き推論(Backward Reasoning)及び双方向推論がある．前向き推論では，様々な入力条件を提示しルールベースに蓄えられたルールの条件部に照合するルールを探索し，探索されたルールを逐次的に組み合わせ，ルールに合う結論を導き出す．後ろ向き推論では，ルールの結論部が成立するにはどの条件部が必要であるかというようにルールを後ろ向きに適用する手法である．また，両方を組み合わせた双方向推論では，前向き推論を用い解を推定し，その後，推定された解の妥当性を検

討するために後ろ向き推論を用いる。この推論手法は、人間が行っている意思決定のプロセスを良く模擬していると考えられている。

2. 2 フレーム理論

フレーム理論は、マサチューセッツ工科大学の M. Minsky 教授が認知科学的な分野の観点から考案した理論である。人間は、静的な記憶のみならず、情景の変化を理解するため動的な記憶までもできるという思考から提案されたものである。

フレーム理論とは、

フレーム理論を参考にし知識ベース・システムにおける知識表現として考えられた形式が、フレーム表現(またはフレーム)である。この表現は構造的であることが特徴的である。フレームには、スロットと呼ばれる複数の構成要素が存在する。スロットは、名前とその値の対で構成され、スロット名とスロット値または属性と属性値とで表現される。属性は、文字の通り名前を示し、同一なフレーム内では同じ名前の属性は使用することができない。属性値は概念的には一つの値を示すが、実際に知識ベースを作成する上では種々の情報を包含する必要があるため、構造化されて利用される。属性値は、ファセットと呼ばれる構成要素を集合したものとして実現される。フレーム形式を用いた推論では、属性の継承、デフォルト、手続き付加が重要な特徴である。

(1) 属性の継承について整理

継承は“受け継ぐこと”の意であり、属性の継承とはスロットを受け継ぐことと想像することができる。フレームは、図-2.1のように階層構造をしている。ここで、一番上に存在するフレームを最上位フレーム、その下のフレームを上位フレーム、また上位フレームの下のフレームを下位フレームと呼ぶことにする。各階層のフレームの中に属性、属性値が存在していることは、先の節で述べてある。

例えば、D フレーム中の属性の属性値が空白の場合を考える。この属性値が何も指定されていない場合、上位フレームの B フレームに戻り、探索している属性値に該当する属性値の発見を試みる。探索している属性値が発見された場合、D フレーム中の属性値に B フレームで発見された属性値を当てはめる。もし、上位フレームでも探索している属性値が発見されない場合は、その上の最上位フレームである A フレームで属性値を探索する。探索している属性値が発見された場合は、先ほどと同様に

立ち戻り D フレームに埋め込む。このような関係が、属性の継承と呼ばれるものである。また、最上位フレームでもやはり発見することができなかった場合は、追加命令を行わせる。

(2) デフォルト

(3) 手続き付加

この手続き付加は、種々の類似性のあるデーモンのうちのひとつと考えられる。ここで、デーモンについてまとめる。デーモンは、一定の条件が満たされたときに自動的に作動する手続きのことを言う。このデーモンは、対応するスロットにメッセージが送信された場合に起動されるものである。代表的なデーモンは、IF_NEEDED, IF_ADDED, IF_REMOVED が代表的なものである。それぞれの意味している内容を以下に示す。

IF_NEEDED: 属性値が呼ばれたときに、属性値が入力されていないときに作動するプログラムである。

IF_ADDED: スロットに属性値が入力されたときに作動するプログラムである。

IF_REMOVED: スロットの属性値が削除されたときに作動するプログラムである。

これらのデーモンは、スロット中のファセットに記述されることが良くある。

手続き付加は、予めスロットに規則を記述しておくこととなる。

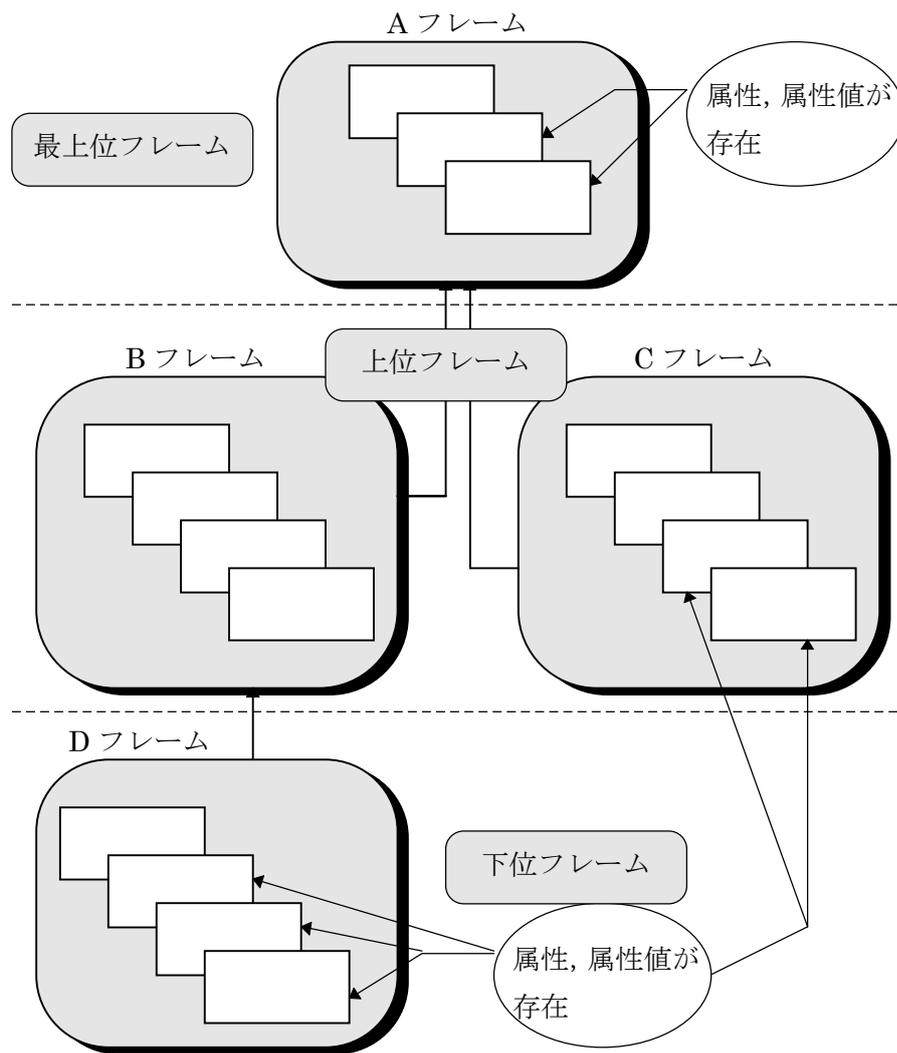


図-2.1 フレーム形式の構造

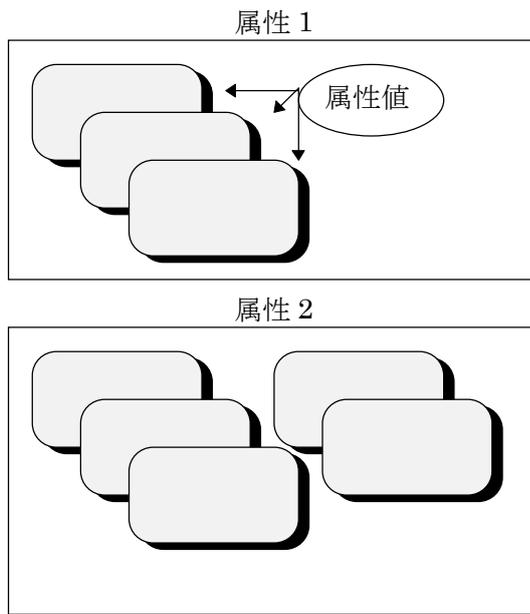


図-2.2 属性と属性値の関係

第3章 不確定な知識の取り扱いとその更新手法

知識ベースを構築する場合，エキスパートの持つ知識は通常ある不確定さを持って抽出される．また，特定の事例に対応する入力情報は必ずしも確定的ではなく，“だいたい”，“およそ”，“おそらく”のような不確定で抽象的な表現で提示される場合がある．したがって，そのような不確定な情報，あるいは知識に対応できることは，実用的なエキスパートシステムの必須条件である．

不確定な知識の取り扱い手法としては，Bays 確率を基にした Dempster&Shafer 理論，MYCIN の開発した医療診断システムによる手法(確信度を用いた手法)，MYCIN の提案した推論方法の短所を補った証拠推論，類似性を考慮に入れて推論する類推(別名，類推推論)，過去の事例を元に自己学習機能を備えた事例ベース推論などがある．

3.1 Dempster&Shafer 理論による方法

1967 年に A.P.Dempster は，Bays 確率を応用し新しい理論を発表した．不確実な可能性を表現するために基本確率，上界確率・下界確率という概念を提唱した．また，同年に G.Shafer は，A.P.Dempster の理論を洗練し，主観の扱い方を論じた．

(1) 基本確率

一般的に，確率は全体が“1”の重みを起こりうる各事象に振り分けるようなものと考えられている．それに対して，Dempster&Shafer 理論では，この重さを部分集合のそれぞれに対して振り分けられるものと考えられた．この振り分けられた重みを基本確率と呼ぶ．

全事象集合を A_0 と示し， A_0 の部分集合を $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ としたとき，基本確率は， $[0, 1]$ の値をとり，以下の条件を満たす．

$$m(\phi) = 0 \quad (3.1)$$

$$\sum_{A_i \subseteq A_0} m(A_i) = 1 \quad (3.2)$$

(2) 上界確率・下界確率

上界確率および下界確率は，基本確率をもとに同じく部分集合に対して振り分けられる．つまり，ある部分集合 S に振り分けられた下界確率は，その集合 S のもとである事象のどれかが起きる確率の下限を示す．また，上界確率はその集合のもとで，ある事象のどれかが起きる確率の

上限を示す。下界確率 $PL(A_i)$ 、上界確率 $PU(A_i)$ は、基本確率を用いて以下のように定義さる。

$$PL(A_i) = \sum_{A_j \subseteq A_i} m(A_j) \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} PU(A_i) &= 1 - \sum_{A_j \subseteq A_i} m(A_j) \\ &= 1 - PL(A_i) \end{aligned} \quad (3.4)$$

この定義より、下界確率 $PL(A_i)$ は、必ず A_i に振り分けられる“重さ”であり、上界確率 $PU(A_i)$ は、少しでも A_i に振り分けられる可能性のある“重さ”であることになる。

(3) 統合規則

Dempster&Shafer の基本確率、上界・下界確率の考えは、不完全な情報から得られる不完全さを含んだ確率を表現するものである。つまり、より多くの情報が得られるならばその不完全さは減少することを表現できる。この考えを実現可能にするのが統合規則となり、ある基本確率が、別々の情報から得られたとき、それを統合したりより正確な基本確率を導くのに用いられる。ただし、それぞれの情報は、独立した情報から得られた基本確率を持つことが前提条件であり、式(3.5)の統合規則により求められるものは、やはり基本確率である。

$$m_3(A_k) = \frac{\sum_{A_i \cap A_j = A_k} m_1(A_i)m_2(A_j)}{1 - \sum_{A_i \cap A_j = \phi} m_1(A_i)m_2(A_j)} \quad (3.5)$$

ただし、 m_1 、 m_2 は、それぞれ独立した情報から

得られた基本確率であり、

m_3 はそれらを統合して得られた基本確率

とする

3. 2 MYCIN の確信度による方法

ルール表現手法とルールシステムを応用して開発された初期の知識ベース・システムの中で最も代表的なシステムが、MYCINにより開発された医療診断システムであろう。この医療診断システムは、不確定な情報

に対応できる知識ベース・システムの草分けであり、その後、不確定性の取り扱い方法に関する研究が活発に行われることになった。

MYCIN では、不確定さを取り扱うために、 $[-1, 1]$ の実数値をとる確信度(Certainty Factor : 以後“CF 値”と示す)を導入した。このシステムのルール表現には、以下の関係がある。

A and B (事象は3つ以上でもかまわない) --- A, B の両方が成立する場合

A or B (事象は3つ以上でもかまわない) --- A, B のどちらか一方が成立する場合

結論部における CF 値の演算方法は以下の通り場合分けして求める。

and 関係の場合 (3.6)

$$A \text{ and } B \text{ の CF 値} = \min(CF_a, CF_b)$$

or 関係の場合 (3.7)

$$A \text{ or } B \text{ の CF 値} = \max(CF_a, CF_b)$$

combination 関係の場合 (事象間に従属関係がない場合) (3.8)

IF $\{(CF_a = 1) \text{ or } (CF_b = 1)\}$ THEN 1

IF $\{(CF_a > 0) \text{ and } (CF_b > 0)\}$ THEN $CF_a + CF_b - CF_a \times CF_b$

IF $\{(CF_a \times CF_b \leq 0) \text{ and } (CF_a \times CF_b \neq 0)\}$ THEN $CF_a + CF_b \times CF_b$

IF $\{(CF_a < 0) \text{ and } (CF_b < 0)\}$ THEN $CF_a + CF_b + CF_a \times CF_b$

IF $\{(CF_a = -1) \text{ or } (CF_b = -1)\}$ THEN -1

ただし、 CF_a, CF_b はそれぞれ事象 A, B の確信度を示す。

3.3 事例ベース推論による方法

3.4 事例ベース推論による方法

事例ベース推論は、既存の事例データを収集し、整理した事例データをもとに新しいデータが提示された場合に、その過去の事例を修正して入力に対応する解を求めるものである。したがって、推論結果は用いる事例の質や量に強く依存する。初期の段階において既存の事例データ数が少ない場合にも、繰り返し問題を提示して解を推論し、求めた解は新しい事例として事例データベースに格納することによって事例数は増殖される。

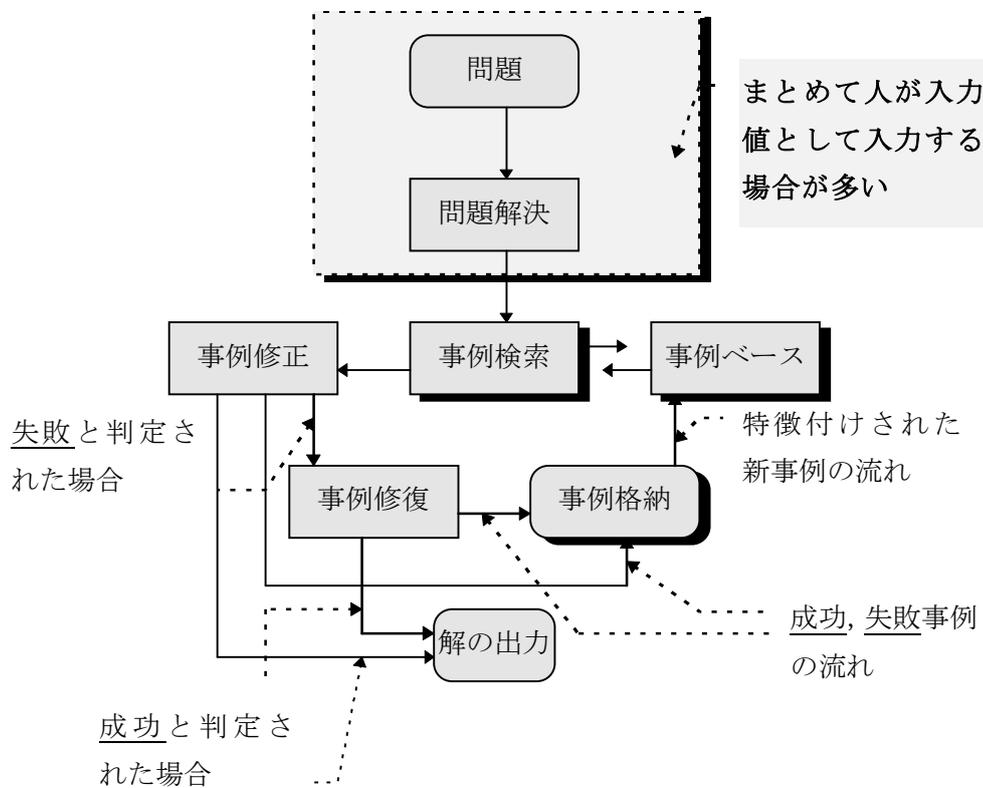
事例ベース推論の流れを図-3.1に示す。構成要素は、問題解析器、事

例ベース，事例検索器，事例修正器，事例修復器，事例格納器である．．問題解析器は，提示された問題またはデータがある一つのルールに照合させ，その問題の特徴を見つけると共に，予測される問題点を列挙する．事例ベースは，既存の事例をある一定の形式で整理・加工されたデータベースであり，成功事例および失敗事例が保管されている．事例検索器は，提示された問題と類似性がある事例を事例ベースの中から探索し，呼び出す．この機能は，データベースシステムにおける検索機能，文書作成ソフトあるいは表計算ソフトの中に組み込まれている検索機能に似ている．事例修正器は，提示された問題と検索された事例において照合しない部分の相違を考慮しながら，ルールを使用し提示された問題の解となり得るように検索事例を修正する．修正された事例は，提示された問題の解と考え，この解に対して他のルールを用いて修正が成功か失敗かを判定する．もし，失敗ならば事例修復器を作動させ，修復が成功ならばその解が結果となる．また，修正の成功・失敗の解を事例格納器の機能を用いて事例ベースに保存する．事例修復器とは，検索事例が提示された問題に対して適用が失敗した場合，ルール，他の事例を採用し失敗の原因を解析し，同様な失敗を繰返し行われぬように事例修復器の機能で該当するルールの変更を行う．また，変更したルールにより失敗した検索事例の解が修復できたならば，この解が結果として出力される．ここでも，失敗，成功の両事例を事例格納機能を用いて事例ベースに保管する．

例えば，初級技術者が道路橋を設計する場合を考える．一般に，技術者が，一人ではじめて手がけるような仕事を請け負うことはないかもしれないが，もし任せられたという状態を考えてみよう．まず，設計を行う対象物の調査をするか，または設計に類似した構造物の設計書などを書庫から探し出すか，上司に相談して経験的なことを聞く行動を取ると想像される．この場合の対象物の調査は，問題解析のようなものと考えられ，書庫を事例データの集まりとして考えると，これは事例ベースみなすことができる．また，類似したものの探索は検索機能と考えることができる．そして，書庫から見つけだし，過去の設計書，設計図などを修正して完成させ，完成した設計書をファイルに入れて分野ごとに書庫に整理する．この修正する行動が事例修正であり，保管する行動が事例格納に相当する．最後に，修正した事例が失敗であるならば他の事例，上司の意見を利用して成功させる．結果が成功した場合にこれもやはり書庫に保管する．これが，事例修復であると考えられる．しかし，この例では，失敗した設計を書庫に事例として保管されないが，知識として技術者に保管

され、逆に言えば問題回避のためのルールに変更されると考えても良いと思われる。

しかし、現段階で事例ベース推論の仕組みはかなり参考書または論文集に示されつつあるが、未だ事例ベース推論に用いるルール、修正方法、修復方法などが明確に確立されいるとは言い難い。



図－3.1 事例ベース推論の構成要素と流れ

第4章 知識ベースの更新手法

知識ベースは不確定さを持ったものであり，どのようにすれば知識ベースの不確定さが減少できるかという研究が，近年，盛んに行われている．過去には，知識ベース・システムを開発するだけでなく，その時用いた知識ベースの不確定さを解消させる手法が提案されている．この不確定さの解消の手法は，様々な人たちが研究しているが，本研究に参考となる提案手法を整理して示すことにする．

(1)宮本らによる提案手法

(2)古田らによる提案手法

(3)三上らによる提案手法

第5章 提案する知識洗練機能付エキスパートシステム

5.1 概要

第3章で述べたごとく，知識獲得の困難が，エキスパートシステム開発のボトルネックであること，および，不確定な情報を取り扱うことができることがエキスパートシステムの必須条件である．更に，不確定な知識を扱う場合には，その不確定さ故に，知識の更新機能を持つことが重要である．

そこで，本研究では，仮説と仮説間の関係を構成要素とする相互結合型のネットワークで表現されたルールベース洗練機能付汎用型推論システムを構築した．本推論システムは，従来の方法で獲得された知識をルール化することにより通常の推論を行うばかりではなく，具体事例に対する既存の推論システムの推論結果を用いることによって，ルールベースを洗練することができる．

第一に，ルールベースが事例すなわち教師データより信頼度が高い場合には，ルール確信度がノード教師確信度に比べて全体的に大きくなり，いわゆる min-max 合成による推論プロセスが実行される．第二に，ルールベースの信頼度に比べて高い教師データが得られている場合には，ノード教師確信度が相対的に大きくなり，階層型ニューラルネットワークで用いられる誤差逆伝播を応用して教師データに対応するようにルールベースが洗練される．

5. 2 仮説および仮説間の関係の数値表現

本研究で構築した推論システムにおいては、ネットワークを構成するノード及び結合は、それぞれ仮説および仮説間の関係の強さを表す。それらの属性値は、仮説の成立する可能性(以後、ノード値と呼ぶ。)及び仮説間の関係の強さ(以後、結合係数と呼ぶ。)であり、これらを $[0, 1]$ 間の実数値で表現している。ノード値及び結合係数には、不確定さがあると考え、ノード値及び結合係数に対して確信度を付与した。更に、各ノードは過去の事例から得られる教師データを持つことができる。教師データは、各仮説の属性値である[ノード値, ノード確信度]に対応して[ノード教師値, ノード教師確信度]を属性値として持つ。この確信度の付与により不確定さを表現できるばかりではなく、仮説推論及びルール洗練機能を併せ持つ本推論システムの動作もまた制御することができる。すなわち、推論を実施する前のいわゆる事前情報として、ルールの属性値としての[結合係数, ルール確信度]及びノードの教師データの属性値としての[ノード教師値, ノード教師確信度]があることになる。

5.3 推論アルゴリズム

推論方法の概要を図-4.2に示す。各ルールは、複数の結論部をもちうることにした。図中の左側の i_1, i_2, i_3 などのノードは、第 i ルールの条件部を示し、また、 i_0 ノードは同じルールの結論部を表している。第 i ルールは、結合係数 w_i とルール確信度 $c_{w,i}$ で定義される。また、各々のノードは、ノード値 $a_{i1} \sim a_{i3}$ およびノード確信度 $c_{i1} \sim c_{i3}$ で定義されるものとする。図の例では、第 i, j, k のルールがノード i_0 を同一の結論部として持っている。それぞれのノードは、ある場合は他のノードへの入力（すなわち条件部）となり、ある場合には他からの出力（すなわち結論部）となり得る。

以下に、本推論システムにおける推論アルゴリズムを示す。

まず、ある一つのルールの推論から導かれるノード値を次式のようにいわゆる \min 演算により求める。

$$\bar{a}_i = \wedge_l (a_{il} \cdot w_i) \quad (5.1)$$

i_l : ルール i の条件部のノード

また、同じルールの推論から導かれる確信度は次式で求める。

$$\bar{c}_i = c_{i\bar{l}} \cdot c_{w,i} \quad (5.2)$$

\bar{l} : 式(4.1)における $\wedge_l (a_{il})$

で最小となる項目を示す

あるノードがただ一つのルールの結論部となっている場合には、式(5.1)、(5.2)で求まる値が結論部のノード値とノード確信度となる。

$$a_{i0} = \bar{a}_i \quad (5.3)$$

$$c_{i0} = \bar{c}_i \quad (5.4)$$

あるノードが2つ以上のルールの結論部となっている場合には、それらのルールについて式(5.1)および(5.2)から得られた値を、次式を用いて統合してその結論部のノード値及びノード確信度とする。

$$a_{i0} = \vee_m (\bar{a}_m) \quad (5.5)$$

m : ノード i_0 を結論部とするルール番号

$$c_{i0} = \&(\bar{c}_m) \quad (5.6)$$

記号 $\&(\)$ は,

$$\bar{c}_{m_1} \&\bar{c}_{m_2} \quad \text{for } \forall m_1, m_2 \in m$$

ただし $\&$ は $a \&b = a + b - a \cdot b$ なる演算

5.5 知識洗練アルゴリズム

図-5.2に示したように、各ノードは教師データを持つ。教師データは、前述のように全ノードについてノード教師値およびノード教師確信度の対で定義される。

通常のルールベース・システムでは、ルールベースを確定的な情報として持ち、これからある特定の事例に対する仮説の状態を推定することになる。本推論システムでは、ノード教師確信度をルールベースのルール確信度より低く設定することにより、このような推定を行うことにする。また、ノード確信度の高い情報として事例を持つ場合には、それを用いてルールベースを洗練することになる。更に、ルール確信度がノード教師確信度に比べて低くなる。例えば、ルール確信度を“1.0”に設定し、求めるノード確信度を“0.1”にすればノード値がルールベースより求められることになる。反対に、ルール確信度を“0.1”と設定し、ノード確信度を“1.0”にすればルールベースが洗練されることになる。

以下に、ノード確信度とルール確信度の大小関係より、仮説とルールベースを洗練するアルゴリズムを示す。推論によって得られるあるルール i の結論部のノード確信度 c_{i0} と、同じノードに与えられたノード教師確信度 $c_{t,i0}$ を比較し、ノード確信度またはノード教師確信度の低い方のノード値を更新する。

まず、推論により求めたノード値およびノード教師値、ノード確信度およびノード教師確信度の差を求める。

$$\Delta a_{i0} = a_{i0} - t_{i0} \quad (5.7)$$

$$\Delta c_{i0} = c_{i0} - c_{t,i0} \quad (5.8)$$

ここで、もし、 $\Delta c_{i0} \geq 0$ なら、教師データが確信度の低い情報とみなされ次式により更新される。

$$t_{i0} \leftarrow t_{i0} - \eta \Delta a_{i0} \quad (5.9)$$

$$c_{t,i0} \leftarrow c_{t,i0} + \eta \Delta c_{i0} \quad (5.10)$$

η : 学習率

また、 $\Delta c_{i0} < 0$ の場合には、推論プロセスにおける min-max 演算によって採用されたところのノード(あるいはルール)に対応するノード値及びノード確信度(あるいは、結合係数及びルール確信度)が次式のように更新される。

条件部のノードが更新される場合

$$a_{\bar{m}, \bar{i}} \leftarrow a_{\bar{m}, \bar{i}} + \eta \Delta a_{i0} \quad (5.11)$$

$$c_{\bar{m}, \bar{i}} \leftarrow c_{\bar{m}, \bar{i}} + |\Delta c_{i0}| \quad (5.12)$$

結合係数が更新される場合

$$w_{\bar{m}} \leftarrow w_{\bar{m}} + \eta \Delta a_{i0} \quad (5.13)$$

$$c_{w, \bar{m}} \leftarrow c_{w, \bar{m}} + \eta |\Delta c_{i0}| \quad (5.14)$$

\bar{m} : max 演算において結論部として
採用されたルール番号

\bar{i} : 第 \bar{m} ルールにおける min 演算で
採用された入力ノード番号

図-5.2 に推論とルール洗練の流れを示す.

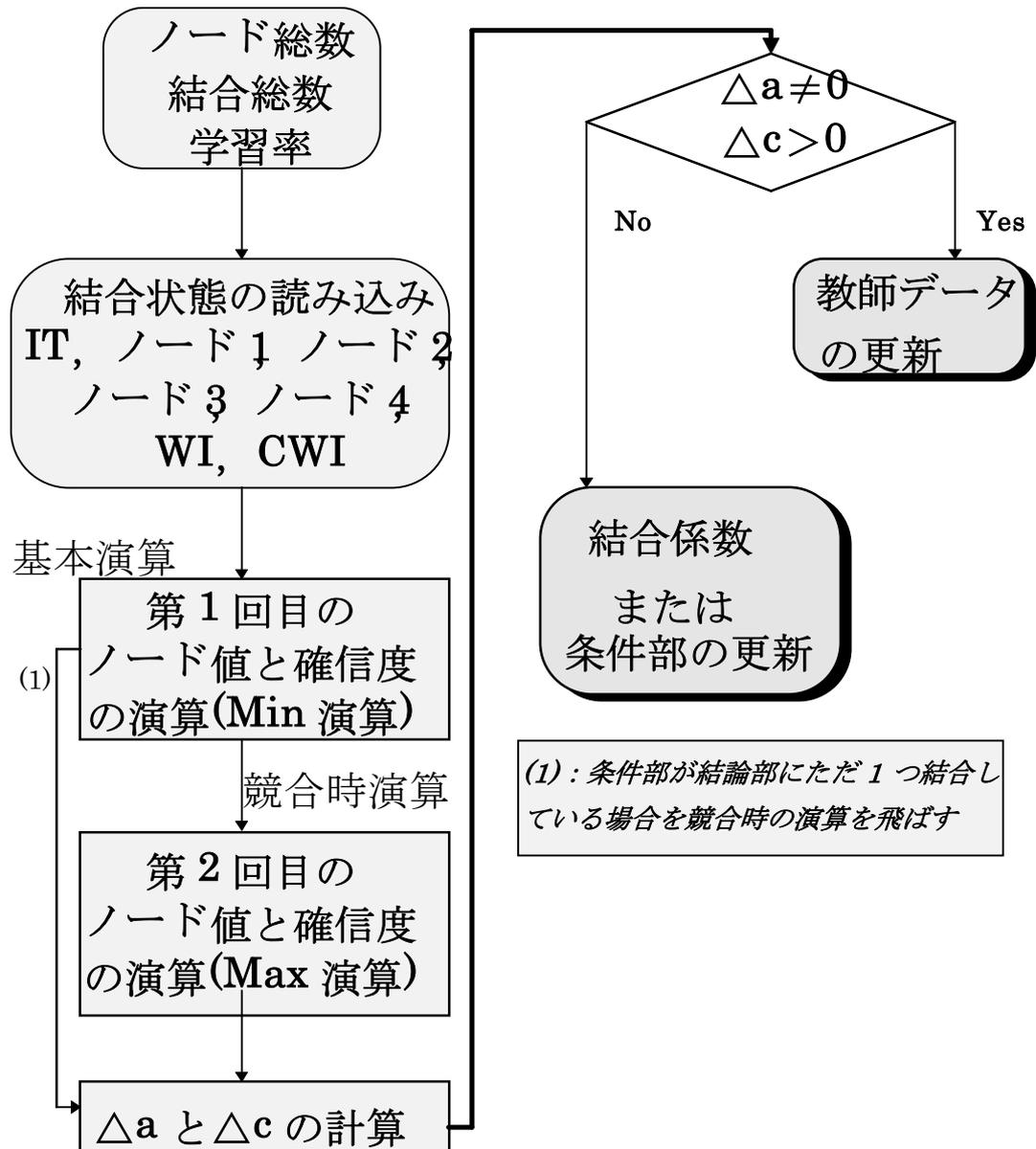


図-4.1 推論システムの流れ

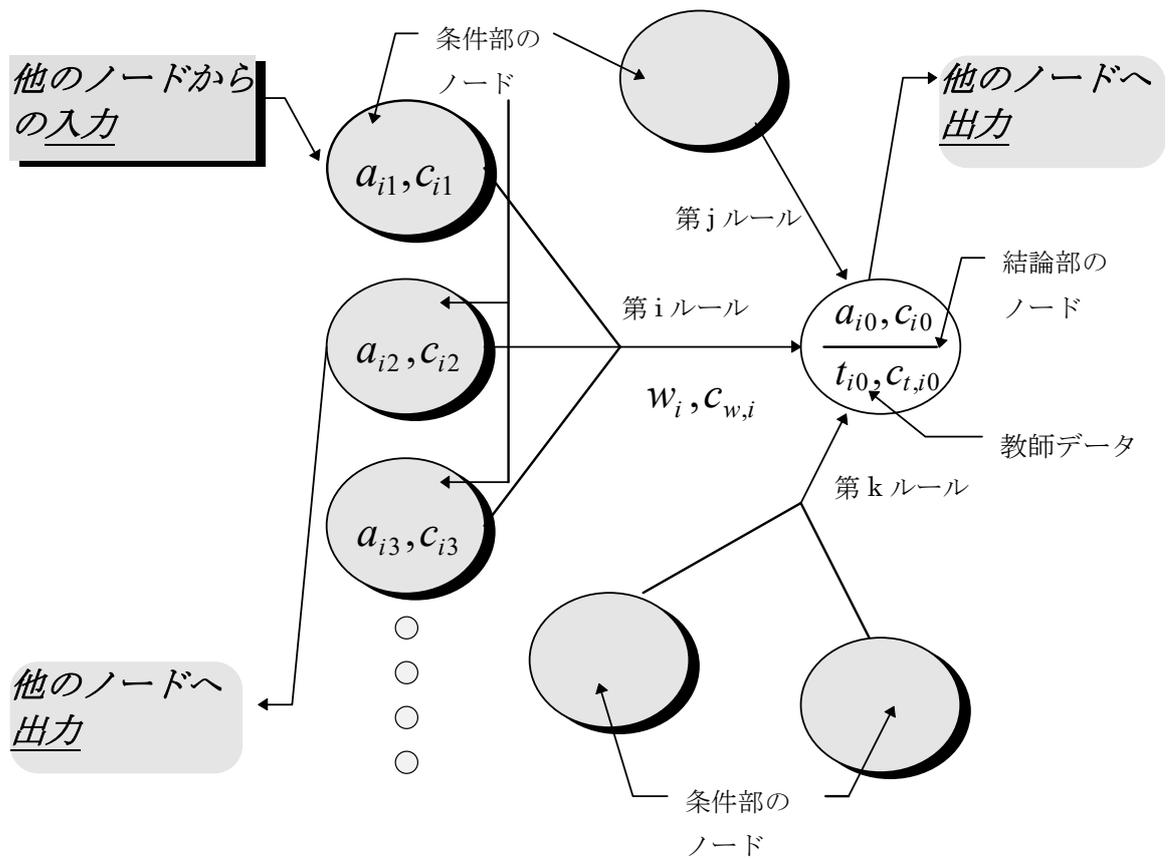


図-4.2 本推論システムの全体構成

第6章 適用したルールベースと推論結果

適用例として、三上・田中らにより開発された道路橋 RC 床版の損傷要因推定システム(以後、既存システムと呼ぶ。)のルールベースとそのルールベース・システムの推論結果である。このシステムは、確信度付きのプロダクションシステムを用いて、RC 床版の損傷状況から損傷要因を判定し、損傷要因を推定する知識の流れを記述し、また、フレームを利用して推論された損傷要因とマッチングする損傷種類をリストアップするシステムである。損傷種類の推定には、目視できる損傷、損傷場所、適用示方書、輪荷重通行位置に関する情報が用いられる。既存システムで対象としている損傷を表-6.1 から表-6.4 に示す。また、特定する損傷種類を表-6.5 に、推論する損傷要因を表-6.6 に示す。

既存システムで用いたルールベースは、目視できる損傷-損傷種類の因果関係、損傷種類-損傷要因の因果関係、適用示方書-損傷要因の因果関係、損傷場所-損傷要因の因果関係からなる。それらを文献[]から引用し、表-6.8 から表-6.11 に示す。表中の◎、○、△は、確信度の大きさを3段階に分類して示したものである。三上・田中らは、曖昧な知識を記述するのであるならば、あまり細分化しても無意味であると考え、3つの確信度で記述している。また、確信度の算定には、MYCINの推論手法を採用している。

本研究では、既存システムのルールベースを数値化し本推論システムのルールベースとして移植し用いることにした。まず、目視できる損傷の情報から損傷種類を推定し、推定された損傷種類の情報、診断場所の情報、輪荷重通行位置の情報および適用示方書の情報を用い損傷原因の可能性を推定するものである。用いる仮説数は63、ルール数は872である。表-6.12 から表-6.17 に仮説のノード番号を付けた損傷の情報をまとめた。数値化にあたっては、三上・田中らのルール表現における確信度◎、○、△を3/4、2/4、1/4に数値表現した。この時、数値化したルールを表-6.19 から表-6.22 に示した。

表－6.1 目視できる損傷

| | |
|--------|--|
| ひびわれ | (a) 橋軸方向 (b) 幅員方向 (c) 縦横方向 (d) 一部集中 |
| 剥離 | (e) 浮き有り (f) かぶり欠落 (g) 破壊 |
| 不純物の流出 | (h) 遊離石灰 (i) 漏水 (j) 錆 |
| 鉄筋露出 | (k) かぶり不足 (l) 剥離 |

表－6.2 診断場所

| | |
|---|-----------|
| ア | ハンチ部付近 |
| イ | 支間中央部付近 |
| ウ | 片持部 |
| エ | 桁端部 |
| オ | 中央分離帯付近 |
| カ | 張出し部水切り箇所 |
| キ | 排水管周り |

表－6.3 適用示方書

| | |
|---|-------------|
| あ | 昭和31年5月示方書 |
| い | 昭和39年6月示方書 |
| う | 昭和42年9月通達 |
| え | 昭和43年5月暫定基準 |
| お | 昭和46年3月通達 |
| か | 昭和48年2月示方書 |
| き | 昭和53年4月通達 |
| く | 昭和55年2月示方書 |

表－6.4 輪荷重通行位置

| | |
|----------|---------|
| α | 支点上付近 |
| β | 支間1/4付近 |
| γ | 支間中央付近 |

表－6.5 損傷種類

| | |
|-----------|---------------|
| ひびわれ | 1 橋軸方向のひびわれ |
| | 2 幅員方向のひびわれ |
| | 3 縦横方向のひびわれ |
| | 4 格子状のひびわれ |
| | 5 亀甲状のひびわれ |
| | 6 貫通ひびわれ |
| 剥離 | 7 浮き有り |
| | 8 かぶり欠落 |
| | 9 破壊 |
| 10 遊離石灰流出 | |
| 11 漏水 | |
| 鉄筋露出 | 12 かぶり不足による露出 |
| | 13 剥離による露出 |
| 14 鉄筋発錆 | |
| 15 鉄筋腐食 | |

表－6.6 損傷要因

| | |
|--------|--|
| 荷重等 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 過大な輪荷重の作用 ・ 衝撃作用 ・ 輪荷重通行位置と支持桁配置の関係 |
| 設計・構造上 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 床版厚による剛性不足 ・ 鉄筋量不足による剛性不足 ・ 配力鉄筋量の不足 ・ 主鉄筋の曲げ上げ位置の不適性による鉄筋量の不足 ・ 主桁が拘束するための乾燥収縮による引張応力 ・ 主桁の不等沈下による付加曲げモーメント ・ 連続げた橋、アーチ系橋梁等で、載荷状態における床版の負の曲げモーメント、引張力の作用 ・ 荷重分配横桁の有無 |
| 施工上 | <ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリートの低品質 ・ 打設時における冬場の凍結影響 ・ 養生の施工不良 ・ 施工打継目の処理不十分 ・ 配筋の誤差 ・ かぶり不足 |
| その他 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 気象作用による凍結、融解等の影響 ・ 塩分 ・ 表面排水の良否 |

表－6.7 既存システムに提示した事象と事例

| 事象 | | 事例 | | | | | | | |
|-------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 目視できる 損傷 | ひびわれ 剥離 | c | c | c | c | c | c | c | c |
| | 不純物の流出 鉄筋露出 | | | | | | | e | |
| | | h | h | h | h | h | I | | |
| 損傷場所 | | ア | イ | エ | ア | ア | ア | ア | ア |
| 適用仕方書 | | (イ) | (イ) | (イ) | (ウ) | (ク) | (イ) | (イ) | (イ) |
| 輪荷重通行位置 | | (β) | | | (β) | (β) | (β) | (β) | (β) |

表－6.8 目視できる損傷と損傷種類のルール

| 目視できる損傷 | | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | | 鉄筋露出 | | | | |
|------------|---|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|------|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ひび 割れ | a | ◎ | | | | | | | | | | | | | | |
| | b | | ◎ | | | | | | | | | | | | | |
| | c | | | ◎ | ○ | ○ | △ | | | | | | | | | |
| | d | | | ○ | ○ | ◎ | △ | | | | | | | | | |
| 剥離 | e | | △ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | | | | | | ○ | | |
| | f | | △ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | | | ◎ | ◎ | ○ | △ |
| | g | | | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| 不純物の 流出 | h | | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | | | | ◎ | ◎ | | | ◎ | △ |
| | I | | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | | | | | ◎ | | | ◎ | △ |
| | j | | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | | | | ◎ | ◎ | | | ◎ | ◎ |
| 鉄筋の 露出 | k | | | | | | | | | | | ◎ | | ◎ | ◎ | ○ |
| | l | | △ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | | | | ◎ | ◎ | ◎ | ○ |

表－6.9 適用示方書から損傷要因を推定

| 要因 | 示方書 | (ア) | (イ) | (ウ) | (エ) | (オ)(カ) | (キ)(ク) |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|--------|
| | 荷重等 | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 設計 ・ 構造上 | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | ・ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | ・ | ○ | ○ | | | | |
| | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |

表－6.10 輪荷重通行位置と損傷種類
から損傷要因を推定

| | | 損傷種類 | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|------|----|----|----|----|
| | | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | | 鉄筋露出 | | | | |
| 要因 | 輪荷重通行位置 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ・ | (α) | ◎ | | | | | | | | | | | | | | |
| ・ | (β) | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | △ | △ |
| ・ | (γ) | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | △ | △ | △ | △ | ○ | ◎ | ◎ | | △ | △ | △ |

表－6.11 ア ハンチ部付近の損傷種類から損傷要因を推定

| 種類 | 要因 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 10 | 11 | 鉄筋露出 | | 14 | 15 |
|--------|----|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | 12 | 13 | | |
| 荷重等 | ・ | ○ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | | ○ | | ◎ | | |
| | ・ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | △ | | ○ | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計・構造上 | ・ | ◎ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ◎ | | ◎ | | |
| | ・ | ◎ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | | ◎ | | |
| | ・ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | | ○ | | |
| | ・ | ◎ | △ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | | ○ | | ◎ | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | ○ | | | | |
| | ・ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | |
| | ・ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | △ | | △ | | |
| 施工上 | ・ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | | △ | △ | △ |
| | ・ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | | △ | △ | △ |
| | ・ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | | △ | | △ | △ | △ |
| | ・ | | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ・ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ・ | | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | | | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| その他 | ・ | | △ | △ | △ | △ | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | △ | ○ | ○ |
| | ・ | | | | | △ | △ | | | △ | ◎ | ◎ | | △ | ○ | ○ |

表－6.12 イ 支間中央部付近の損傷種類から損傷要因を推定

| 種類 | 要因 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 10 | 11 | 鉄筋露出 | | 14 | 15 |
|--------|----|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | 12 | 13 | | |
| 荷重等 | ・ | ◎ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | ○ | | ○ | ◎ | ◎ |
| | ・ | | | ◎ | ◎ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| | ・ | | | | | ○ | ○ | | | ○ | | | | | | |
| 設計・構造上 | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | △ | | | | | |
| | ・ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | △ | | | | | |
| | ・ | ◎ | | ○ | ○ | | ○ | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | ○ | | | | |
| | ・ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | | | | | | | | | |
| | ・ | ○ | | △ | △ | ○ | ○ | | | △ | ○ | △ | | | | |
| 施工上 | ・ | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | △ | △ | ○ | | | △ | △ | | |
| | ・ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | | | | | | |
| | ・ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | | | | | |
| | ・ | △ | | △ | △ | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | ◎ | | △ | △ | △ |
| | ・ | | | | | △ | △ | △ | △ | △ | | | | ○ | | |
| | ・ | △ | | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | △ | | | | △ | △ | |
| その他 | ・ | | △ | | | | | | | | | △ | | △ | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | △ | △ | | |
| | ・ | | | | | | | | | ◎ | △ | | | | | |

表-6.12 ウ 片持部付近の損傷種類から損傷要因を推定

| 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 10 | 11 | 鉄筋露出 | | 14 | 15 | |
|--------|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | 12 | 13 | | | |
| 荷重等 | ・ | | △ | | | | | ○ | ○ | ○ | | △ | | △ | △ | △ |
| | ・ | | △ | | | | | | | | | | △ | | | |
| | ・ | | | | | △ | △ | ○ | ○ | ○ | | △ | | △ | | |
| 設計・構造上 | ・ | | ○ | △ | △ | △ | △ | | | | △ | △ | | △ | △ | △ |
| | ・ | | ○ | △ | △ | | △ | | | | △ | △ | | | | |
| | ・ | ○ | ○ | | | | | | | | △ | △ | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | ○ | △ | △ | | △ | | | | | △ | | | △ | △ |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | ・ | △ | △ | | | ○ | ○ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | △ |
| | ・ | | △ | | | △ | △ | | | | △ | △ | △ | △ | | |
| | ・ | | △ | | | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ | | |
| | ・ | | △ | | | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | |
| | ・ | △ | | | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ | △ | △ |
| | ・ | △ | | | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | ◎ | ○ | △ | △ |
| その他 | ・ | | | | | | | | | △ | | | △ | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | △ | △ |
| | ・ | | | | | △ | △ | | | △ | △ | ◎ | | △ | △ | △ |

表-6.12 エ 桁端部付近の損傷種類から損傷要因を推定

| 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 10 | 11 | 鉄筋露出 | | 14 | 15 | |
|--------|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | 12 | 13 | | | |
| 荷重等 | ・ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | △ | △ | | ◎ | △ | △ |
| | ・ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | | | ◎ | | |
| | ・ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | | | △ | | | | |
| 設計・構造上 | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | | ○ | △ | △ |
| | ・ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | | ○ | △ | △ |
| | ・ | △ | △ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | | ○ | △ | △ |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | △ | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | ・ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ | △ | △ |
| その他 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | △ | △ | ○ | ○ | | | | ◎ | ◎ | | | ◎ | ◎ |

表－6.12 オ 中央部分離帯の損傷種類から損傷要因を推定

| 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 10 | 11 | 鉄筋露出 | | 14 | 15 | |
|--------|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | 12 | 13 | | | |
| 荷重等 | ・ | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | | | | ○ | | |
| | ・ | | | | | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | | | | ○ | | |
| | ・ | | | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | | | | ○ | | |
| 設計・構造上 | ・ | | | | | | | △ | △ | △ | | | | ○ | | |
| | ・ | | | | | | | △ | △ | △ | | | | ○ | | |
| | ・ | | | | | | | | | △ | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | △ | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | △ | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | △ | | | | |
| 施工上 | ・ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ | △ |
| | ・ | | | △ | △ | △ | △ | | | | | | | | | |
| | ・ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ◎ | △ | △ |
| | ・ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | ○ | | | ○ | ○ | | |
| | ・ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | ◎ | ○ | △ | △ |
| その他 | ・ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | | | | | | | |
| | ・ | | | △ | △ | △ | △ | | | | | | | | | |
| | ・ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | ◎ | | | ○ | ○ |

表－6.12 カ 張り出し部水切り箇所の損傷種類から損傷要因を推定

| 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 10 | 11 | 鉄筋露出 | | 14 | 15 | |
|--------|------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | 12 | 13 | | | |
| 荷重等 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計・構造上 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| その他 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | | | ○ | ○ |

表-6.12 キ 排水管周りの損傷種類から損傷要因を推定

| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | 剥離 | | | 10 | 11 | 鉄筋露出 | | 14 | 15 | |
|--------|----|------|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | 9 | 12 | | | 13 |
| 荷重等 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計・構造上 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ・ | | | | | | | | | | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ |
| | ・ | | | | | | | | | | △ | △ | | ○ | △ | △ |
| その他 | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ・ | | | | | | | | | | ◎ | ◎ | | | ◎ | ◎ |

表－6.13 目視できる損傷

| | |
|----------------|----------|
| ひび われ | 1 橋軸方向 |
| | 2 幅員方向 |
| | 3 縦横方向 |
| | 4 一部集中 |
| 剥離 | 5 浮き有り |
| | 6 かぶり欠落 |
| | 7 破壊 |
| 不純物 の 流出 | 8 遊離石灰 |
| | 9 漏水 |
| | 10 錆 |
| 鉄筋 露出 | 11 かぶり不足 |
| | 12 剥離 |

表－6.14 損傷場所

| |
|--------------|
| 57 ハンチ部付近 |
| 58 支間中央部付近 |
| 59 片持部 |
| 60 桁端部 |
| 61 中央分離帯付近 |
| 62 張出し部水切り箇所 |
| 63 排水管周り |

表－6.15 適用示方書

| |
|----------------|
| 51 昭和31年5月示方書 |
| 52 昭和39年6月示方書 |
| 53 昭和42年9月通達 |
| 54 昭和43年5月暫定基準 |
| 55 昭和46年3月通達 |
| 昭和48年2月示方書 |
| 56 昭和53年4月通達 |
| 昭和55年2月示方書 |

表－6.16 輪荷重通行位置

| |
|------------|
| 48 支点上付近 |
| 49 支間1/4付近 |
| 50 支間中央付近 |

表－6.17 損傷種類

| | |
|-----------|---------------|
| ひび われ | 13 橋軸方向のひびわれ |
| | 14 幅員方向のひびわれ |
| | 15 縦横方向のひびわれ |
| | 16 格子状のひびわれ |
| | 17 亀甲状のひびわれ |
| | 18 貫通ひびわれ |
| 剥離 | 19 浮き有り |
| | 20 かぶり欠落 |
| | 21 破壊 |
| 22 遊離石灰流出 | |
| 23 漏水 | |
| 鉄筋 露出 | 24 かぶり不足による露出 |
| | 25 剥離による露出 |
| 26 鉄筋発錆 | |
| 27 鉄筋腐食 | |

表－6.18 損傷要因

| | |
|----------------|---|
| 荷重等 | 28 過大な輪荷重の作用 |
| | 29 衝撃作用 |
| | 30 輪荷重通行位置と支持桁配置の関係 |
| 設計 ・ 構造上 | 31 床版厚による剛性不足 |
| | 32 鉄筋量不足による剛性不足 |
| | 33 配力鉄筋量の不足 |
| | 34 主鉄筋の曲げ上げ位置の不適性による鉄筋量の不足 |
| | 35 主桁が拘束するための乾燥収縮による引張応力 |
| | 36 主桁の不等沈下による付加曲げモーメント |
| | 37 連続げた橋、アーチ系橋梁等で、載荷状態における床版の負の曲げモーメント、引張力の作用 |
| 38 荷重分配横桁の有無 | |
| 施工上 | 39 コンクリートの低品質 |
| | 40 打設時における冬場の凍結影響 |
| | 41 養生の施工不良 |
| | 42 施工打継目の処理不十分 |
| | 43 配筋の誤差 |
| 44 かぶり不足 | |
| その他 | 45 気象作用による凍結、融解等の影響 |
| | 46 塩分 |
| | 47 表面排水の良否 |

第7章 単独の事例情報を用いた推論

はじめに，ルールベース・システムの通常の推論である仮説推論を行う。すなわち，ルールベースを確定情報とし，損傷要因を推定するものである。この時，用いた事例に対応する入力情報を表-7.1に示す。これらの事例は，すべて文献[]に示されているものである。各事例における損傷要因の可能性を縦軸に損傷要因の可能性を示し，損傷要因のノード番号を横軸にとって，図-6. から図-6. に示し，図の一部として表を扱い数値をすべて記載する。図中には，既存システムによる推論結果も併せて示した。

次に，各事例の推論結果と三上・田中らの推論結果との誤差を縦軸に誤差，横軸に事例として図-6.9に示した。ここで，誤差は次式により求められる。

$$\text{誤差} = \frac{\sqrt{\sum t_i - a_i}}{n} \quad (7.1)$$

a_i : 本システムにより求めた第 i 損傷
要因の可能性

t_i : 既存システムにより求めた第 i 損傷
要因の可能性

n : 損傷要因の個数

図-6. にその結果を事例毎に示す。

本システムでは，既存のルールベースを取り込む際に $3/4$ ， $2/4$ ， $1/4$ という値をノード値として採用したこと，推論は min-max 演算を用いていること，入力条件が確定情報(すなわち“0”または“1”)であることにより，これらいずれかの値を損傷要因の可能性は持つ。したがって，既存システムにより推論された結果と同じになることは考え難い。

しかしながら，傾向としては，損傷要因の可能性の大小の分類は比較的良く一致しているものが多い。

表－7.1 適用した事例情報の整理

| 事例 | | A | B | C | D | E | F | G | H |
|-------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 目視できる 損傷 | ひびわれ 剥離 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 不純物の流出 | | | | | | | 5 | |
| | 鉄筋露出 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | | |
| 損傷場所 | | 57 | 58 | 60 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 適用仕方書 | | 52 | 52 | 52 | 53 | 56 | 52 | 52 | 52 |
| 輪荷重通行位置 | | 49 | | | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |

表－7.2 表－6.8 の数値化

| 損傷種類 | | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 鉄筋露出 | | | | | |
|----------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 目視できる損傷 | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| ひび 割れ | 1 | 0.75 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | 0.75 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | | | | | | | | | |
| | 4 | | | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.25 | | | | | | | | | |
| 剥離 | 5 | | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | | | | | | | 0.50 | |
| | 6 | | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.25 |
| | 7 | | | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 |
| 不純物 の 流出 | 8 | | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | | | 0.75 | 0.75 | | | 0.75 | 0.25 |
| | 9 | | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | | | | 0.75 | | | 0.75 | 0.25 |
| | 10 | | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | | | | 0.75 | 0.75 | | | 0.75 | 0.75 |
| 鉄筋の 露出 | 11 | | | | | | | | | | | | 0.75 | | 0.75 | 0.50 |
| | 12 | | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | | | 0.75 | 0.75 | 0.50 |

表－7.3 表－6.9 の数値化

| 要因 | 示方書 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 荷重等 | 18 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 19 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 20 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 設計 ・ 構造上 | 21 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | |
| | 22 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | |
| | 23 | 0.50 | 0.50 | | | | |
| | 24 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | |
| | 25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | |
| | 26 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | |
| | 27 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 28 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | |

表－7.4 表－6.10 の数値化

| | | 損傷種類 | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | | | 鉄筋露出 | | | |
| 要因 | 輪荷重通行位置 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 30 | 48 | 0.75 | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 49 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | 0.75 | 0.25 | 0.25 |
| 30 | 50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |

表－7.5 ア 表－6.11 アの数值化

| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 22 | 23 | 鉄筋露出 | | 26 | 27 |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | | 24 | 25 | | |
| 荷重等 | 28 | 0.50 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | 0.50 | | 0.75 | | |
| | 29 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | 0.25 | | 0.50 | | |
| | 30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計・構造上 | 31 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.50 | 0.75 | | 0.75 | | |
| | 32 | 0.75 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | | 0.75 | | |
| | 33 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | | 0.50 | | |
| | 34 | 0.75 | 0.25 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | 0.50 | | 0.75 | | |
| | 35 | | | | | | | | | | | 0.50 | | | | |
| | 36 | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | | | | | | | |
| | 37 | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | 0.50 | 0.50 | 0.25 | | | | |
| | 38 | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | |
| 施工上 | 39 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 40 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 41 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 42 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 43 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 44 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 |
| その他 | 45 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | | | | | | |
| | 46 | | | | | | | | | | | | | 0.25 | 0.50 | 0.50 |
| | 47 | | | | | 0.25 | 0.25 | | | 0.25 | 0.75 | 0.75 | | 0.25 | 0.50 | 0.50 |

表－7.5 イ 表－6.11 イの数值化

| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 22 | 23 | 鉄筋露出 | | 26 | 27 |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | | 24 | 25 | | |
| 荷重等 | 28 | 0.75 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | 0.50 | | 0.50 | 0.75 | 0.75 |
| | 29 | | | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | | | | |
| | 30 | | | | | 0.50 | 0.50 | | | 0.50 | | | | | | |
| 設計・構造上 | 31 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | | 0.25 | | | | | |
| | 32 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | | 0.25 | | | | | |
| | 33 | 0.75 | | 0.50 | 0.50 | | 0.50 | | | | | | | | | |
| | 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | | | | | | | | | | 0.50 | | | | | |
| | 36 | 0.50 | | 0.50 | 0.50 | | 0.50 | | | | | | | | | |
| | 37 | 0.50 | | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | | | 0.25 | 0.50 | 0.25 | | | | |
| | 38 | | | 0.50 | 0.50 | | 0.50 | | | | | | | | | |
| 施工上 | 39 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | | | 0.25 | 0.25 | | |
| | 40 | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.50 | | | | | | |
| | 41 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | | |
| | 42 | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.75 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 43 | | | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | 0.50 | | |
| | 44 | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | | | 0.25 | 0.25 | | |
| その他 | 45 | | 0.25 | | | | | | | | 0.25 | | 0.25 | | | |
| | 46 | | | | | | | | | | | | 0.25 | 0.25 | | |
| | 47 | | | | | | | | | 0.75 | 0.25 | | | | | |

表－7.5 ウ 表－6.11 ウの数值化

| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 22 | 23 | 鉄筋露出 | | 26 | 27 |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | | 24 | 25 | | |
| 荷重等 | 28 | | 0.25 | | | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 29 | | 0.25 | | | | | | | | | | | 0.25 | | |
| | 30 | | | | | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | 0.25 | | 0.25 | | |
| 設計・構造上 | 31 | | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | 0.25 | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 32 | | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | 0.25 | 0.25 | | | | |
| | 33 | 0.50 | 0.50 | | | | | | | | 0.25 | 0.25 | | | | |
| | 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 37 | | 0.50 | 0.25 | 0.25 | | 0.25 | | | | | 0.25 | | | 0.25 | 0.25 |
| | 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | 39 | 0.25 | 0.25 | | | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 40 | | 0.25 | | | 0.25 | 0.25 | | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | |
| | 41 | | 0.25 | | | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | | |
| | 42 | | 0.25 | | | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | |
| | 43 | 0.25 | | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 44 | 0.25 | | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.75 | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| その他 | 45 | | | | | | | | | 0.25 | | | 0.25 | | | |
| | 46 | | | | | | | | | | | | | | 0.25 | 0.25 |
| | 47 | | | | | 0.25 | 0.25 | | | 0.25 | 0.25 | 0.75 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |

表－7.5 エ 表－6.11 エの数值化

| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 22 | 23 | 鉄筋露出 | | 26 | 27 |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | | 24 | 25 | | |
| 荷重等 | 28 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.25 | 0.25 | | 0.75 | 0.25 | 0.25 |
| | 29 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | | 0.75 | | |
| | 30 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | | 0.25 | | | | |
| 設計・構造上 | 31 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| | 32 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| | 33 | 0.25 | 0.25 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| | 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | | 0.25 | | | | | | | | | | | | | |
| | 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 37 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | 39 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 40 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 42 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 43 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | 44 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | 0.75 | 0.50 | | |
| その他 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | | | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | | | | 0.75 | 0.75 | | | 0.75 | 0.75 |

表-7.5 オ 表-6.11 オの数值化

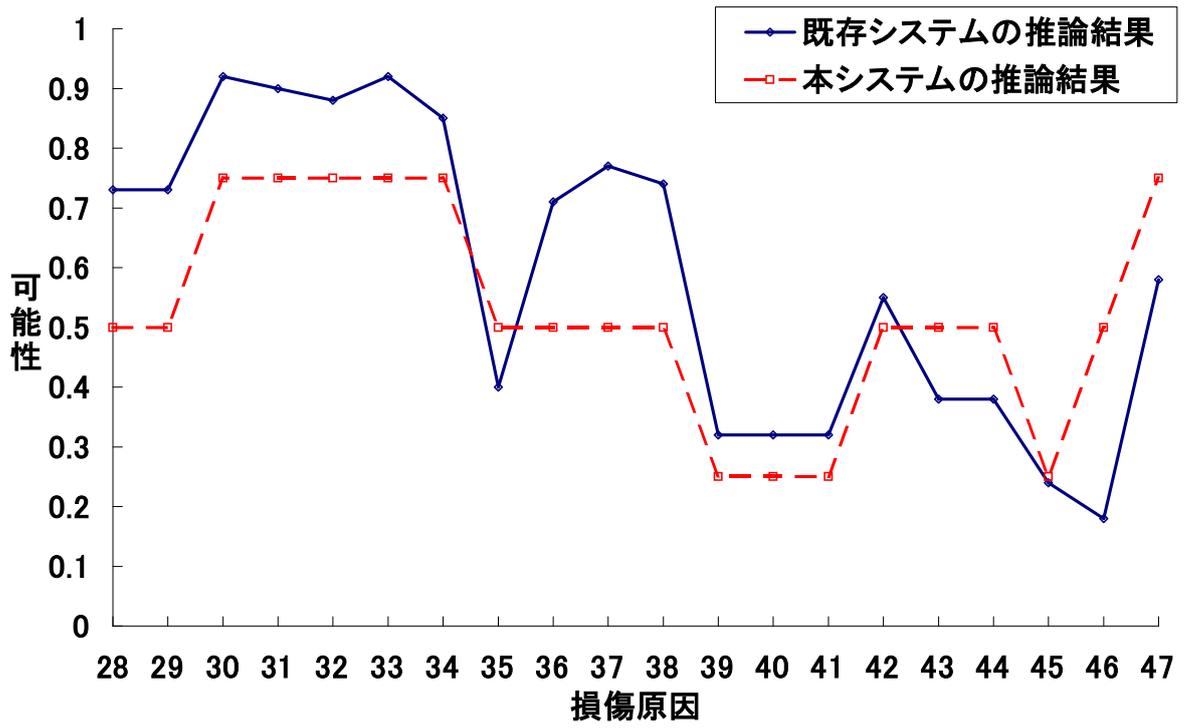
| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 22 | 23 | 鉄筋露出 | | 26 | 27 |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | | 24 | 25 | | |
| 荷重等 | 28 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | | | 0.50 | | |
| | 29 | | | | | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | | | 0.50 | | |
| | 30 | | | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | | | 0.50 | | |
| 設計・構造上 | 31 | | | | | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | 0.50 | | |
| | 32 | | | | | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | 0.50 | | |
| | 33 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 34 | | | | | | | | | 0.25 | | | | | | |
| | 35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 37 | | | | | | | | | | 0.25 | | | | | |
| | 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | 39 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| | 40 | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | | | | | | |
| | 41 | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.25 | 0.25 |
| | 42 | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | | | 0.50 | 0.50 | | |
| | 43 | | | | | | | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| | 44 | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| その他 | 45 | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | 0.50 | | | | | | | |
| | 46 | | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | | | | | | | | | |
| | 47 | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | | | 0.50 | 0.50 | 0.75 | | | 0.50 | 0.50 |

表-7.5 カ 表-6.11 カの数值化

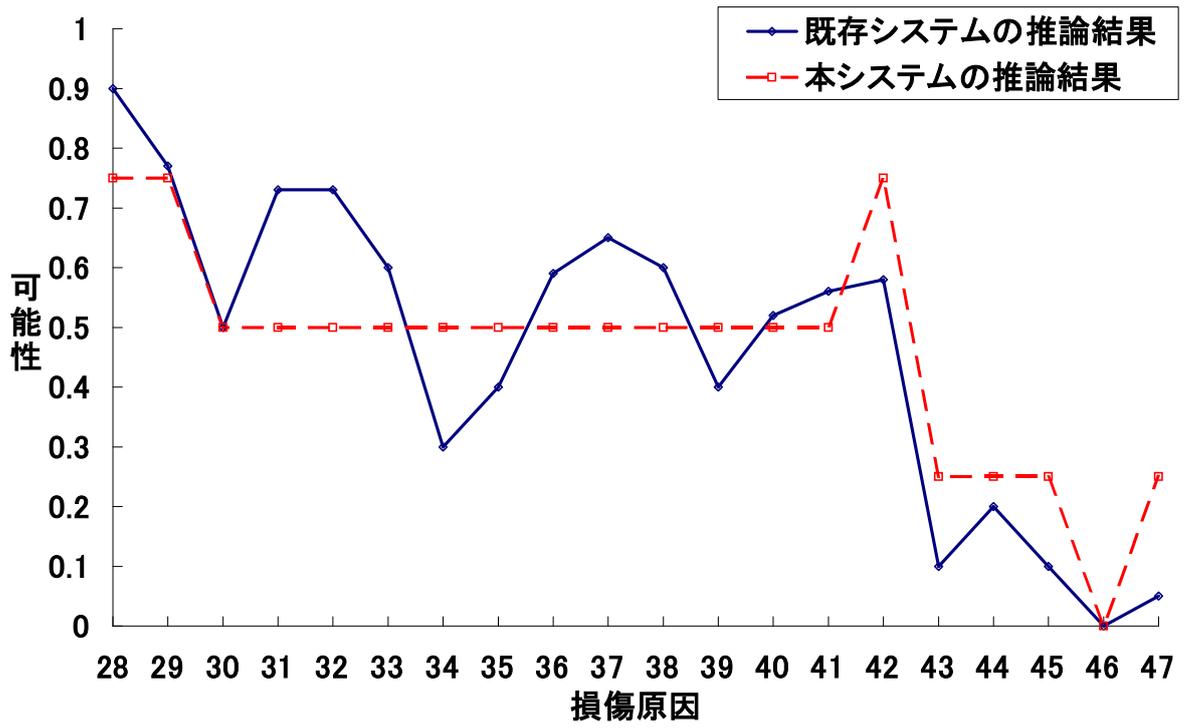
| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 22 | 23 | 鉄筋露出 | | 26 | 27 |
|--------|----|------|----|----|----|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | | 24 | 25 | | |
| 荷重等 | 28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計・構造上 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 32 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 33 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 37 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | 39 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 42 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 43 | | | | | | | | | | | | 0.50 | 0.50 | | |
| | 44 | | | | | | | | | | | | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 |
| その他 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46 | | | | | | | | | | | | | 0.50 | | |
| | 47 | | | | | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | | | 0.50 | 0.50 |

表-7.5 キ 表-6.11 キの数值化

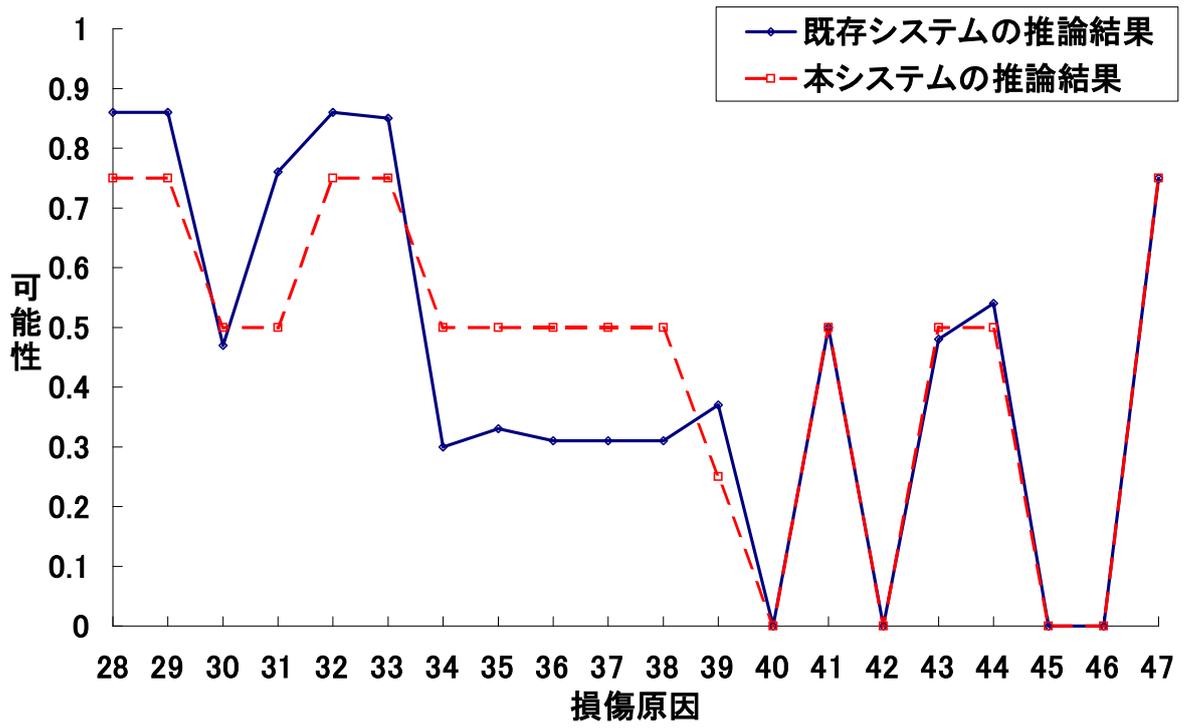
| 要因 | 種類 | ひびわれ | | | | | | 剥離 | | | 鉄筋露出 | | 26 | 27 | | |
|--------|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|------|------|------|------|------|------|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | | 24 | 25 |
| 荷重等 | 28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計・構造上 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 32 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 33 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 37 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 施工上 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 39 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41 | | | | | | | | | | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 42 | | | | | | | | | | 0.50 | 0.50 | | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| その他 | 43 | | | | | | | | | | 0.25 | 0.25 | | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| | 44 | | | | | | | | | | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 |
| | 45 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | | | | | | | | | | 0.75 | 0.75 | | | 0.75 | 0.75 |



図－7.6 事例 1 の情報における仮説推論の結果



図－7.8 事例 2 の情報における仮説推論の結果



図－7.9 事例 3 の情報における仮説推論の結果

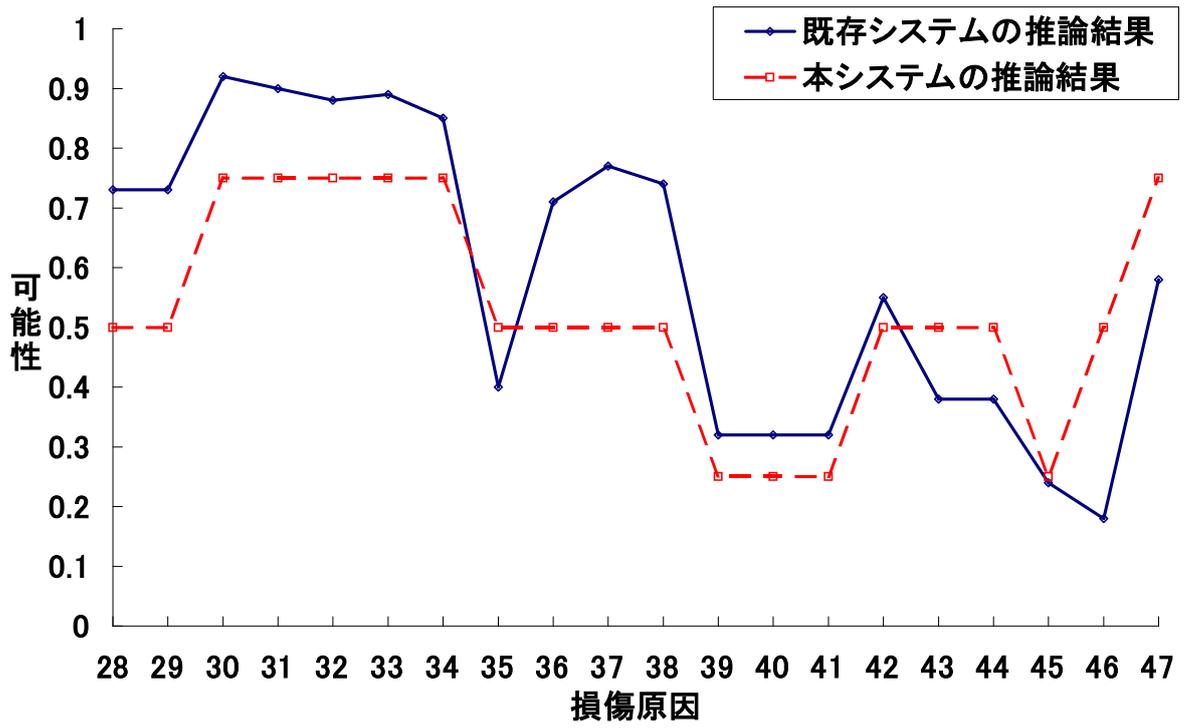


図-7.10 事例4の情報における仮説推論の結果

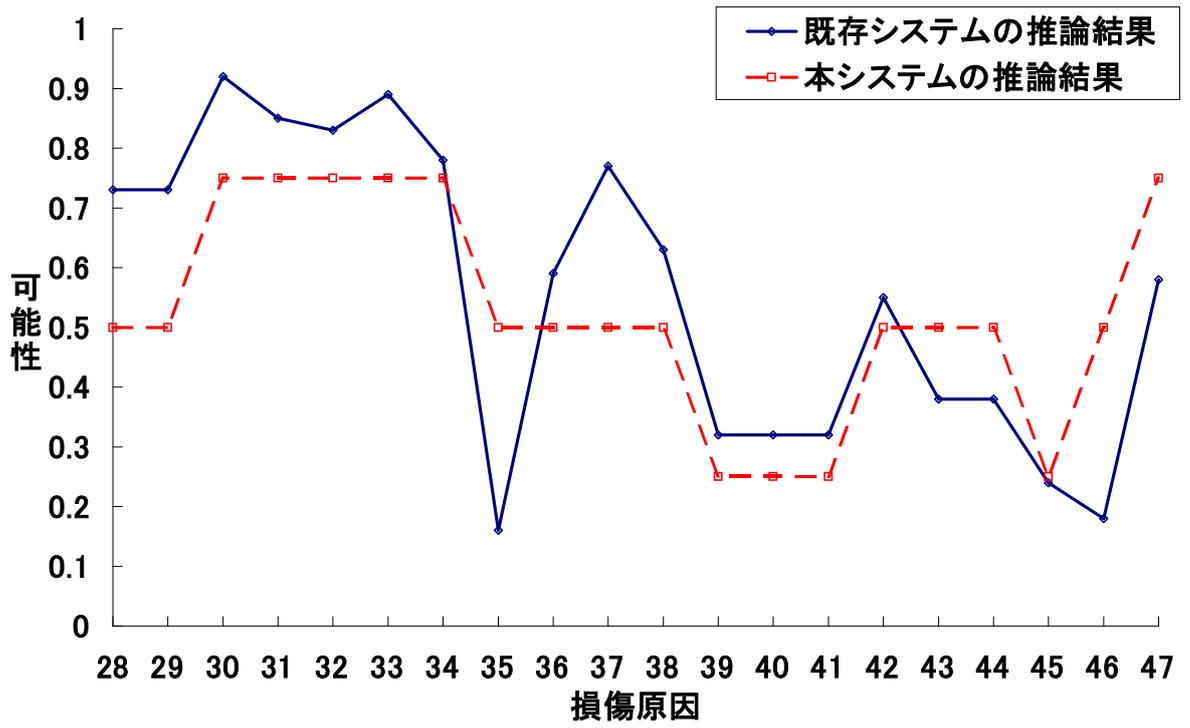


図-7.11 事例5の情報における仮説推論の結果

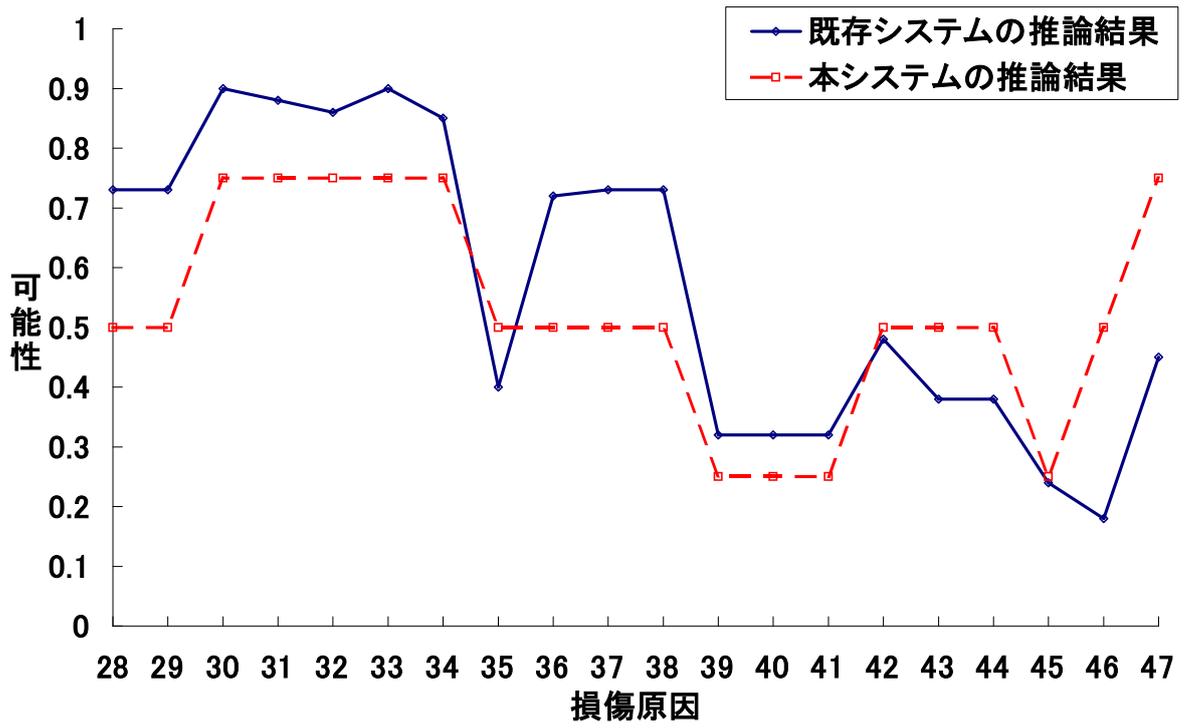


図-7.12 事例 6 の情報における仮説推論の結果

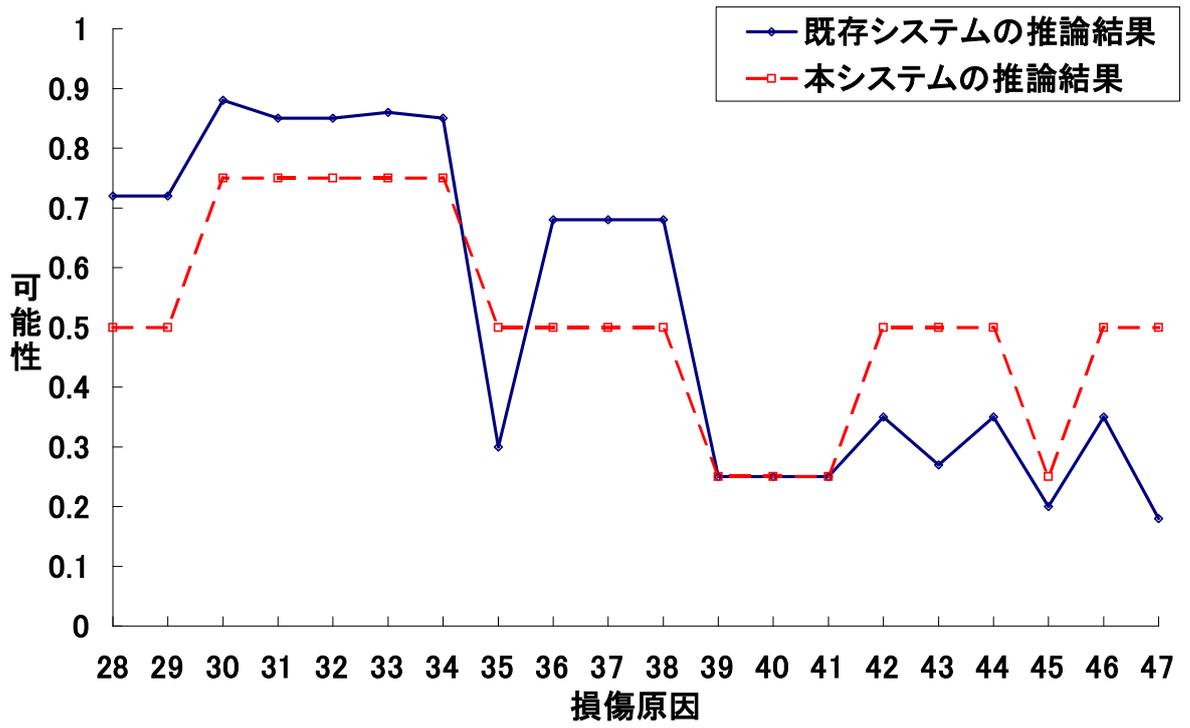


図-7.13 事例7の情報における仮説推論の結果

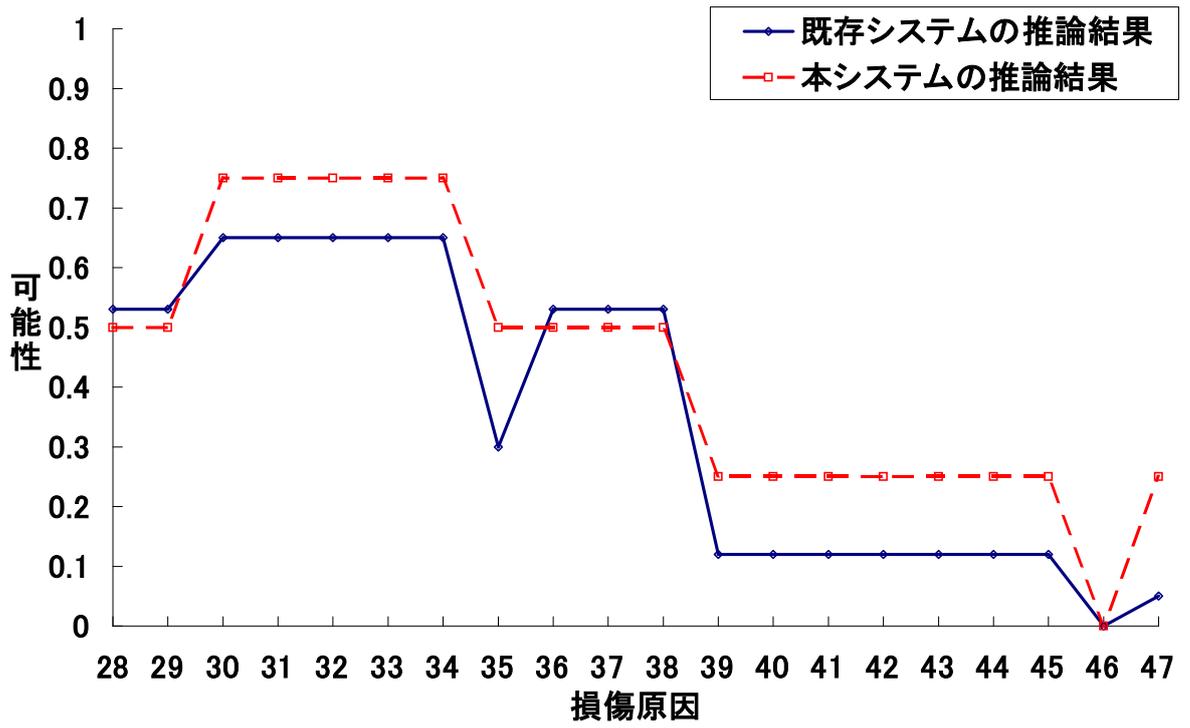


図-7.14 事例 8 の情報における仮説推論の結果

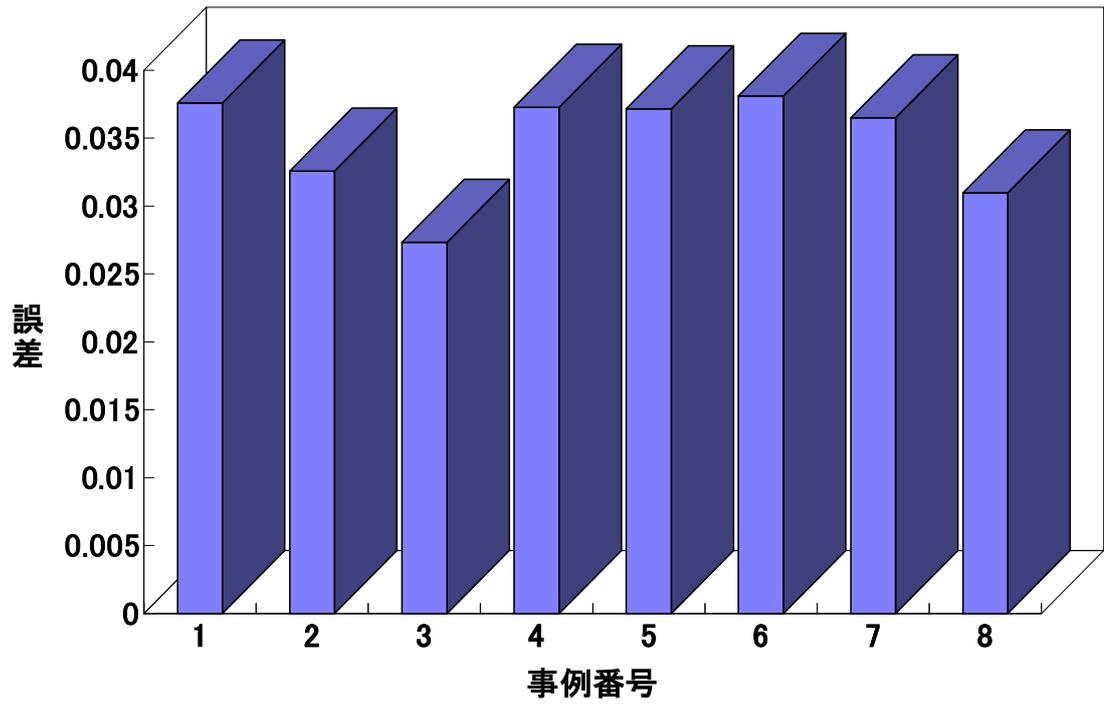


図-7.15 本推論結果と既存システムの推論結果との誤差結果

第 8 章 既存システムの推論結果を利用したルールベース洗練

既存システムの推論結果を不確定さがないと見なし、この推論結果を教師データとして提示し、ルールベースを洗練し、その後、洗練されたルールベースを用い仮説推論を行った。ただし、ルールベース洗練の際には、教師データが変化しないように、すべてのノード教師確信度を 1.0 に設定し、すべてのルール確信度を 0.1 に設定した。また、仮説推論を行う際には、ルールベース洗練を終了させた後のものを利用するため、ルール確信度は洗練後のものを用い、損傷要因は未知であるとして対応するノード確信度を 0 とした。

用いた事例は、先の第 6 章の表 6.1 に示した事例に対する既存システムによる推論結果である。

8.1 単独の事例による洗練

まず、単独事例を教師データとして利用し、ルールベースを洗練した。

縦軸に損傷要因の成立する可能性、横軸に損傷要因をとり、図 8.1 から図 8.8 に事例 1 から事例 8 の推論結果を示した。図中には、洗練における反復回数(以後、洗練回数と呼ぶ。)の影響を得るため、洗練回数異なる場合の洗練結果も示した。更に、比較のため既存システムによるの推論結果も示した。図 8.1 から図 8.8 では、既存システムの推論結果の洗練回数による推移を確認し難いことから、式(7.1)で定義される誤差を各線連回数、各事例毎に算出した。その結果を図 8.9 に示す。

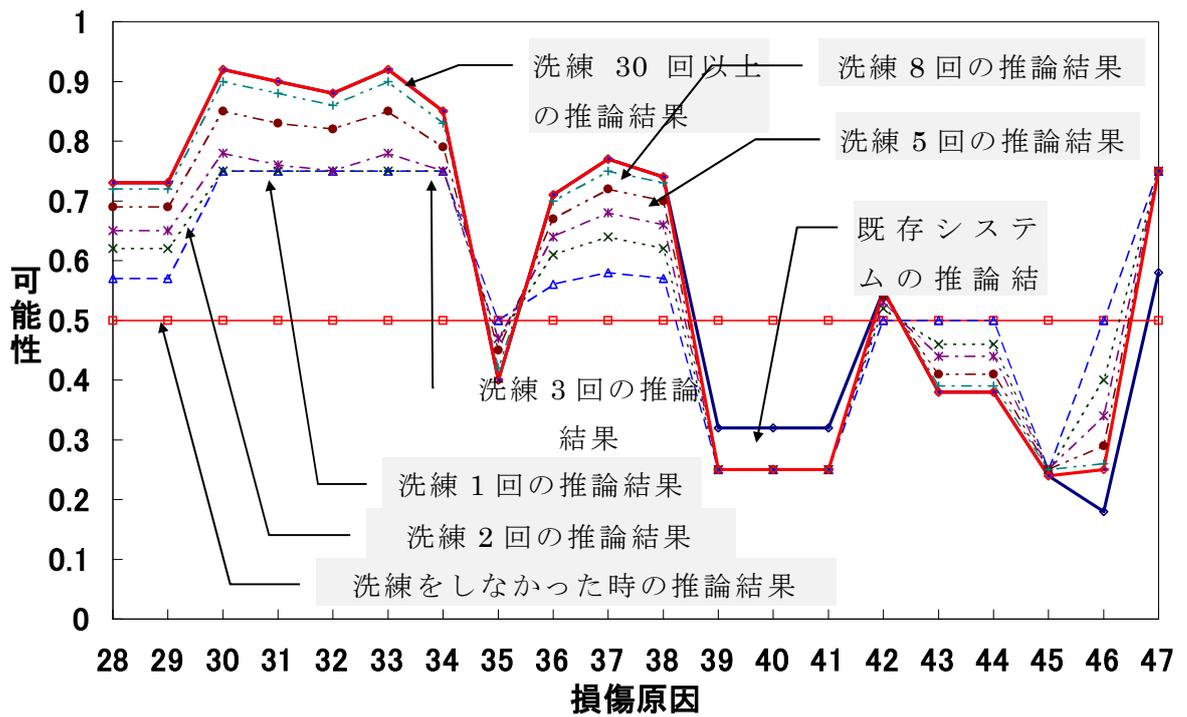


図-8.1 事例1のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性

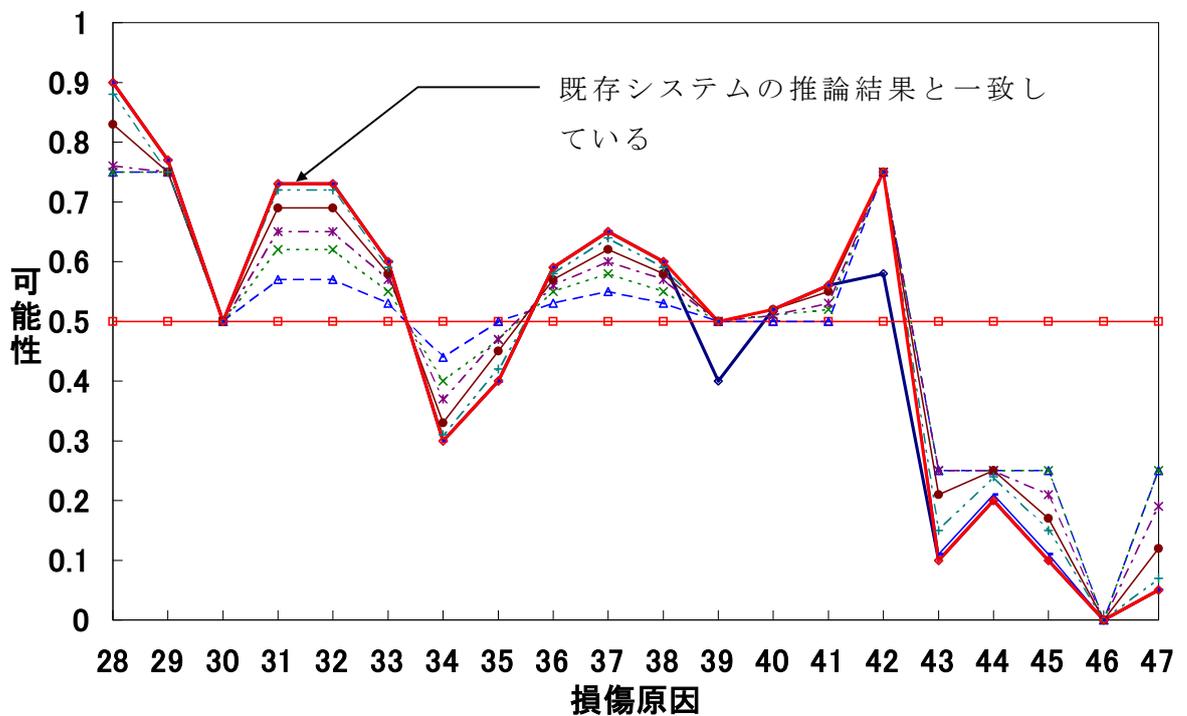
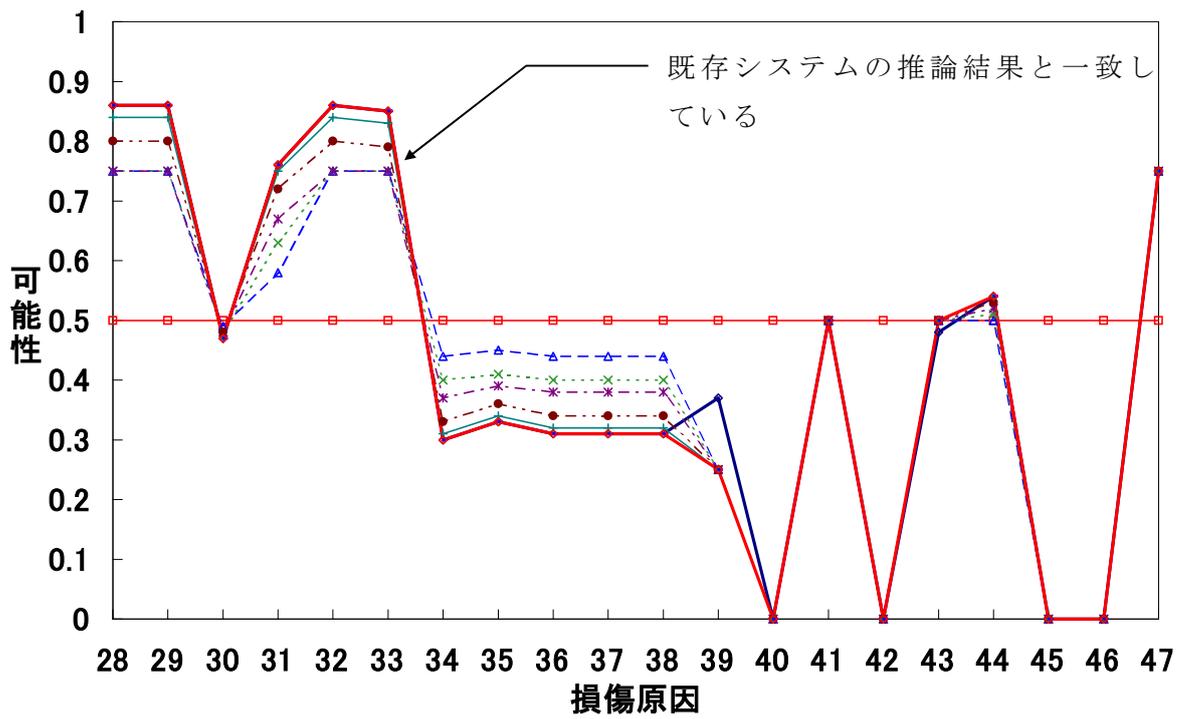
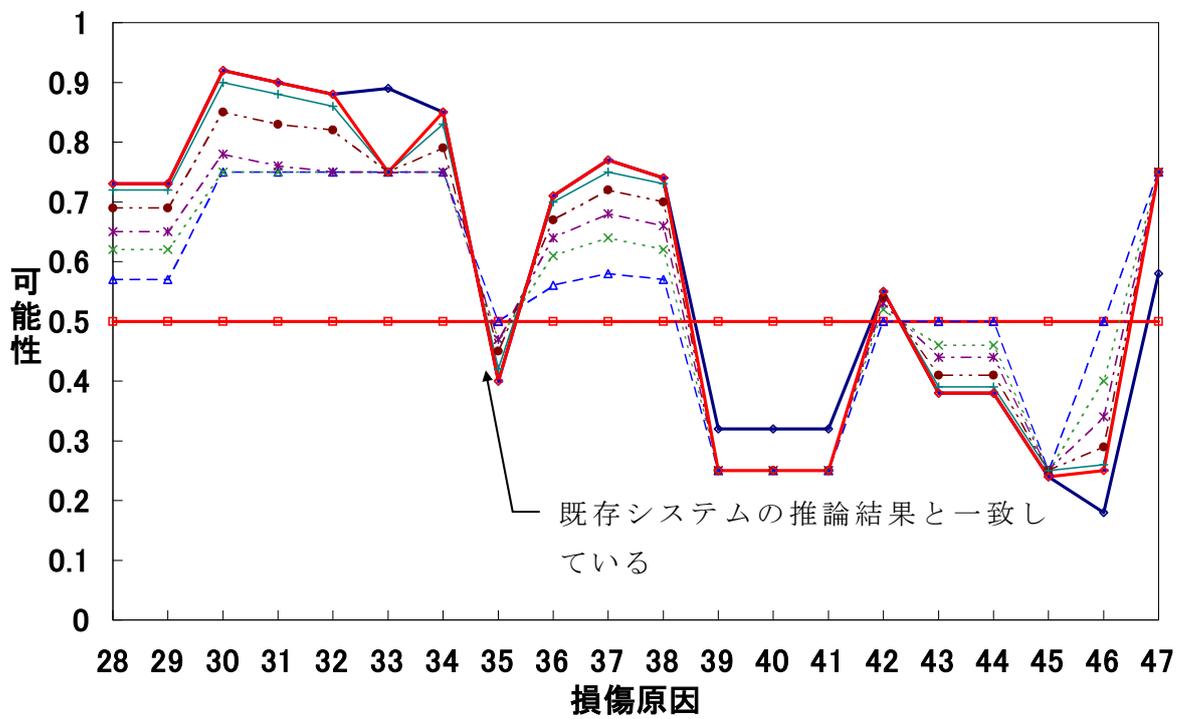


図-8.2 事例2のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性



図－8.3 事例 3 のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性



図－8.4 事例 4 のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性

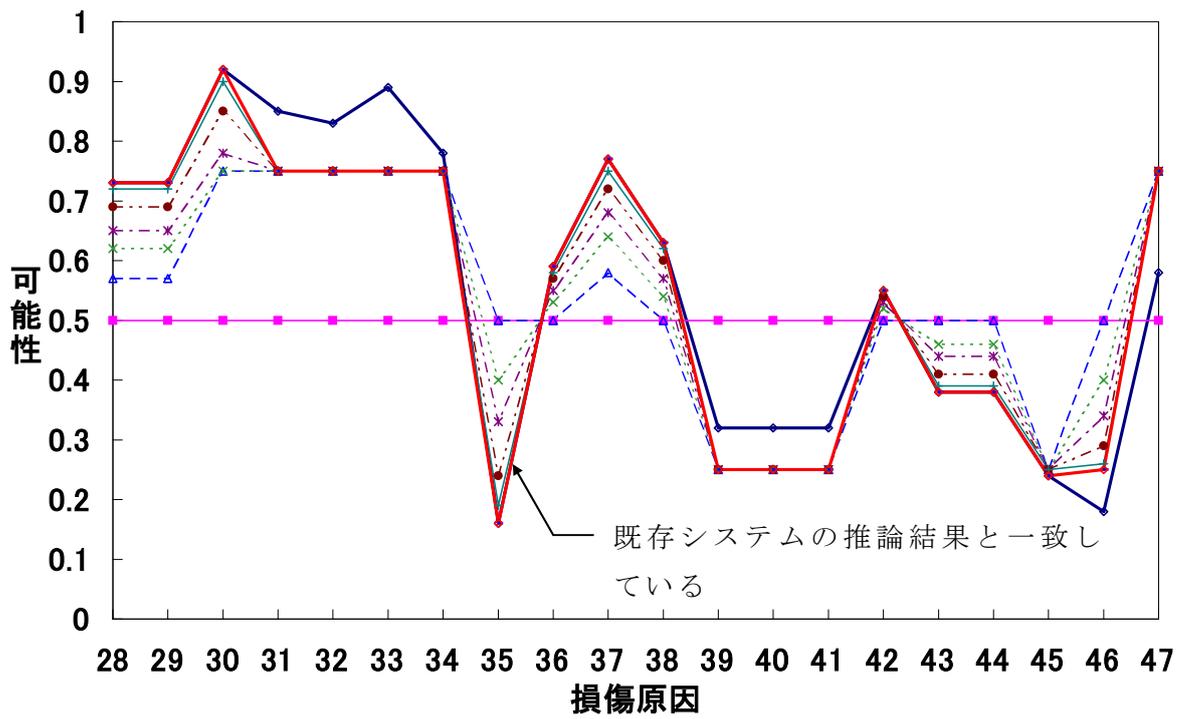


図-8.5 事例5のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性

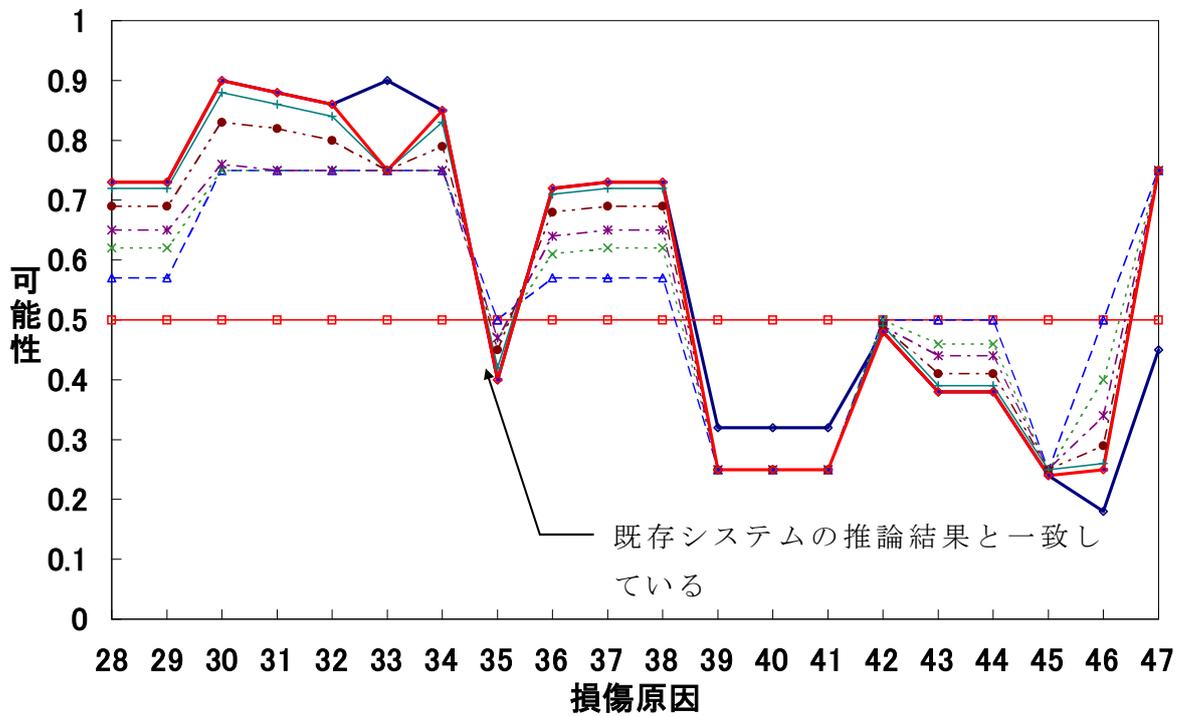


図-8.6 事例6のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性

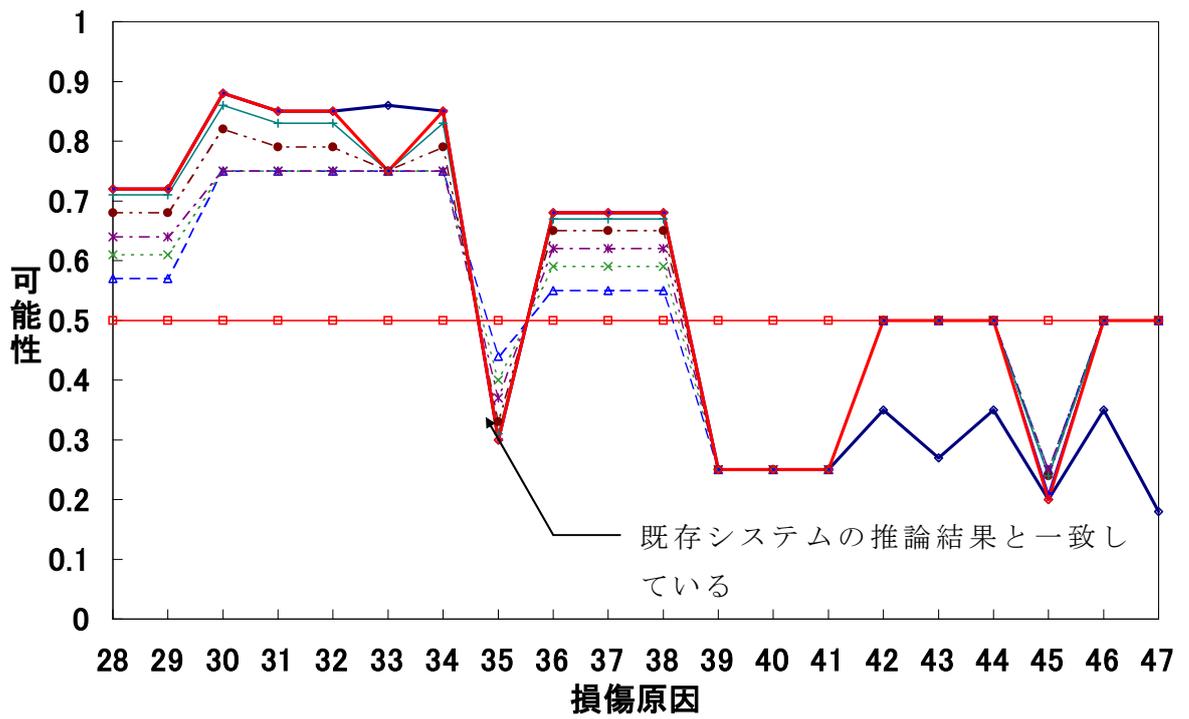


図-8.7 事例7のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性

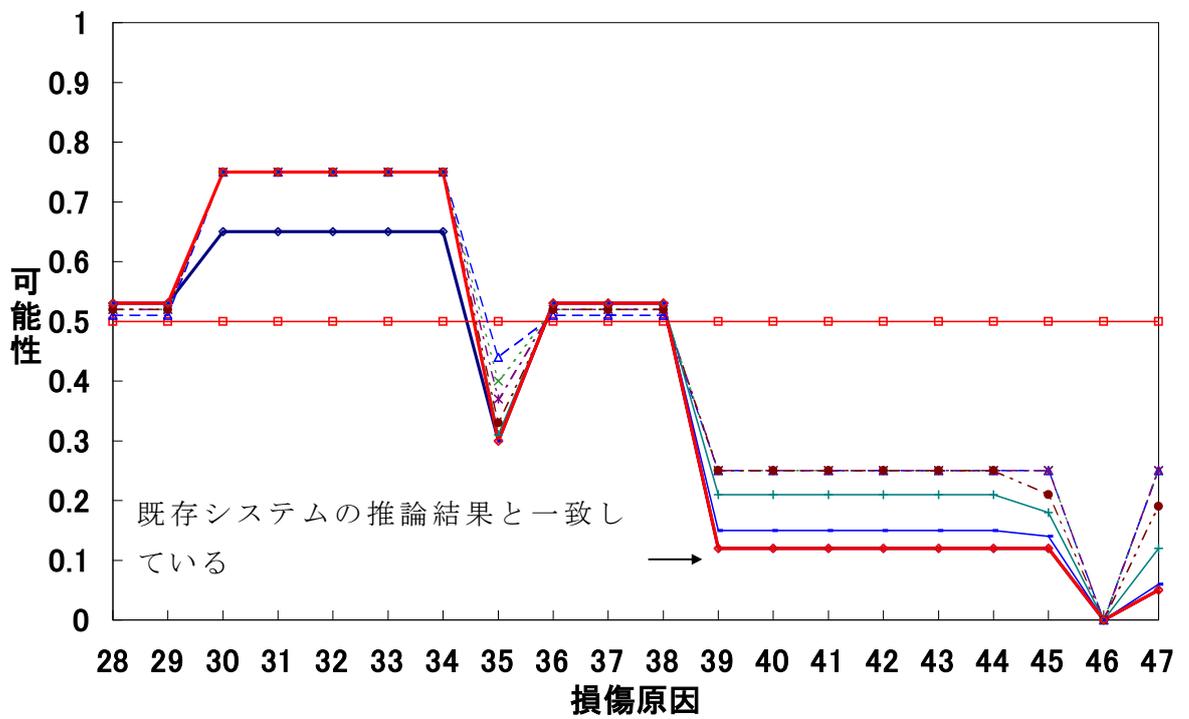
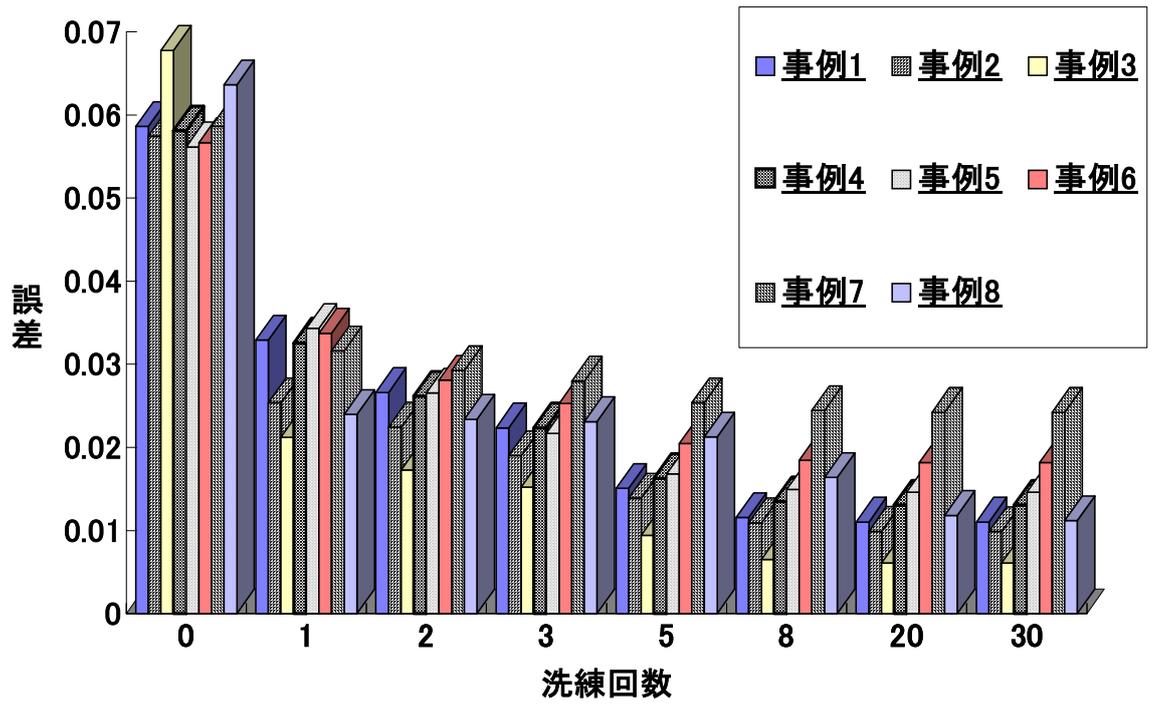


図-8.8 事例8のルールベース洗練後の
損傷原因の可能性



図－8.9 既存システムの推論結果と洗練後の推論結果の誤差と洗練回数

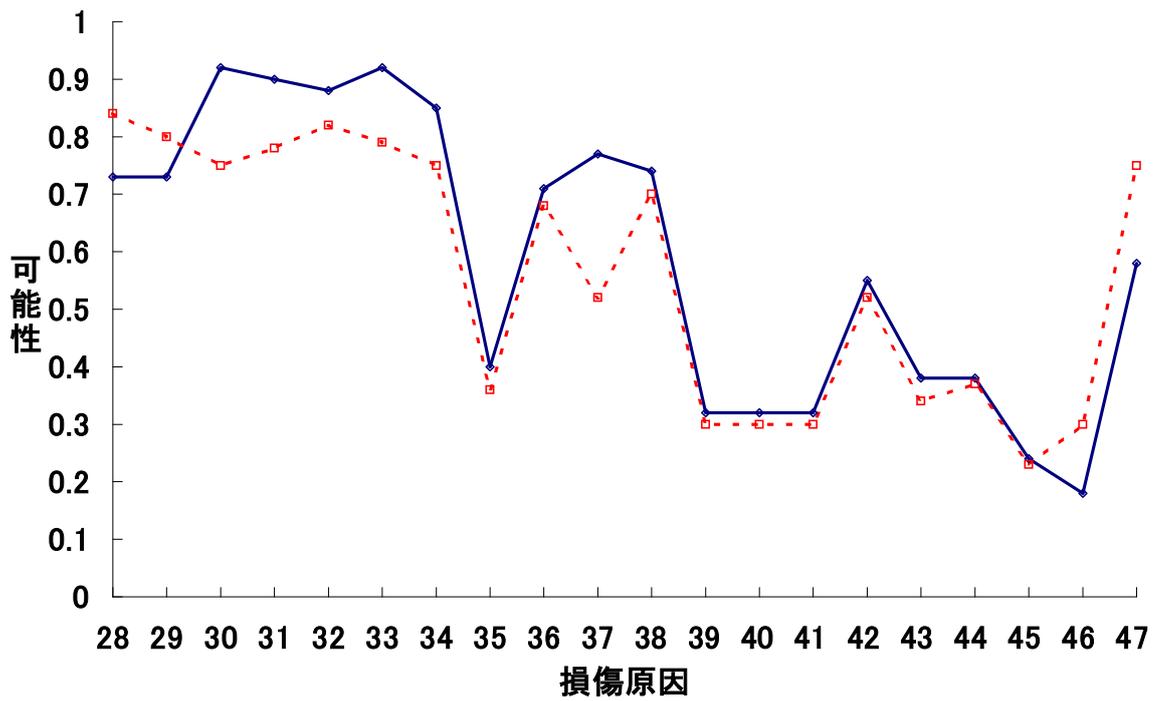
8.2 複数の事例を同時に提示したときのルールベース洗練における影響

この章は、複数の事例における教師データが存在している時にルールベースをどのように洗練すればよいかを検討する。例えば、適用している事例のように診断場所の情報が等しく、他の損傷情報が異なる場合がある。極端にも一つの事例の教師データのみを用いてルールベース洗練を行い、他の事例を用いて推論した場合の求める損傷原因の可能性は、洗練に用いた教師データの値に依存したものとなる。そこで、この節では、同時に教師データを提示してルールベースを洗練し、その結果を検討することにした。

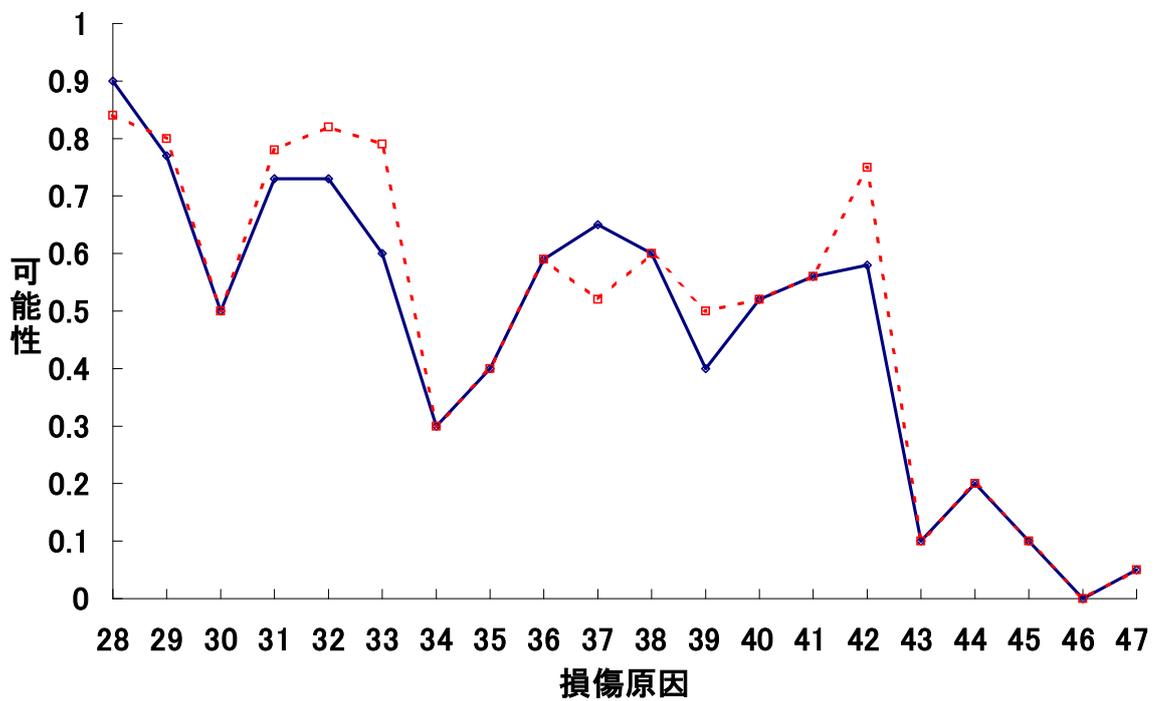
(1) 損傷の情報を考慮せずにすべて教師データとして同時に提示したときの影響

すべての事例の教師データを同時に提示し、ルールベースの洗練を行う。その後、事例1から事例8までの損傷原因の可能性を求める。推定された損傷原因の可能性を図-7.10から図-7.17に示し、縦軸に損傷原因の可能性、横軸に損傷原因をとった。また、既存システムの推論結果とルールベース洗練後の推論結果との誤差を求め図-7.18に示した。

図-7.10から図-7.17において、同時に教師データを提示しルールベース洗練を行う場合と単一の教師データの提示におけるルールベース洗練の場合と比較すると既存の推論結果と一致する割合が非常に少なくなった結果となった。また、同時的なルールベース洗練と単一的なルールベース洗練の結果において類似性のある結果もある。この要因と考えられるものは、洗練のとき提示された教師データに満足行くように洗練されるためであると考えられる。また、図-7.18の誤差と単一に教師データを提示したルールベース洗練の誤差と比較すれば誤差の大きさは同時に教師データを提示してルールベース洗練を行った方が、教師データとの誤差の最大値良く、また誤差の最少はほとんど変わらない。このことから、複数の事例を同時に提示してルールベース洗練を行った方が良いことが分かった。



図－7.10 同時にルールベース洗練をした後の
事例 1 の推論結果



図－7.11 同時にルールベース洗練をした後の
事例 2 の推論結果

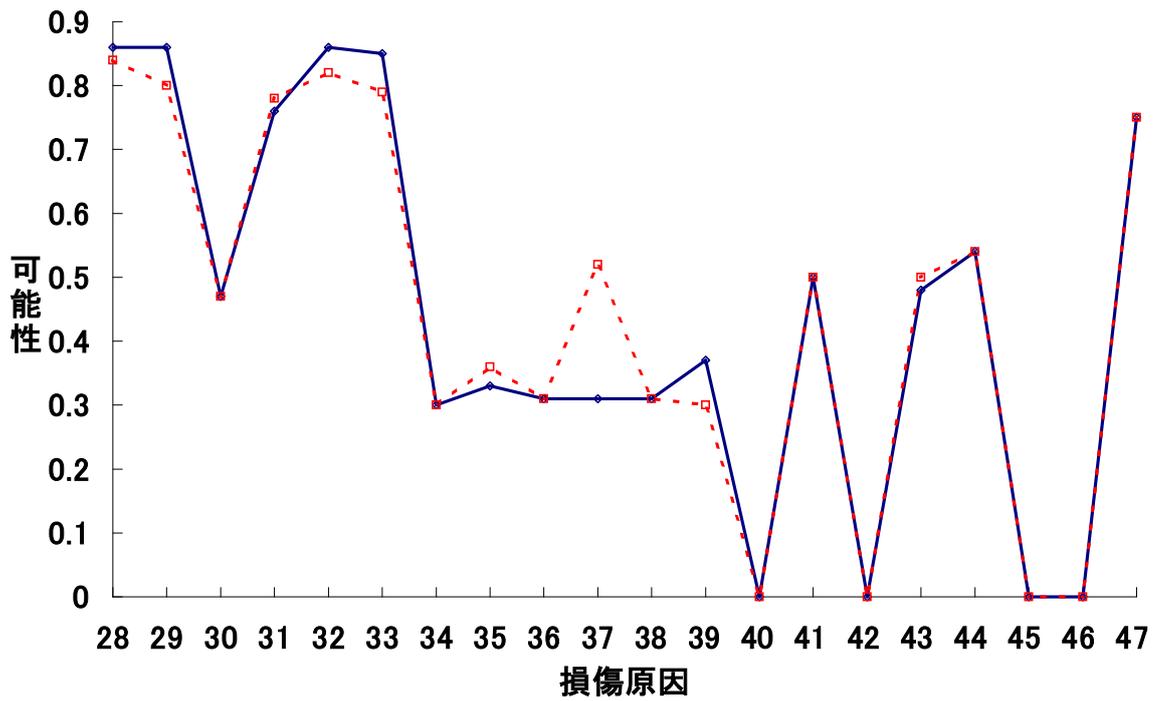


図-7.12 同時にルールベース洗練をした後の
事例3の推論結果

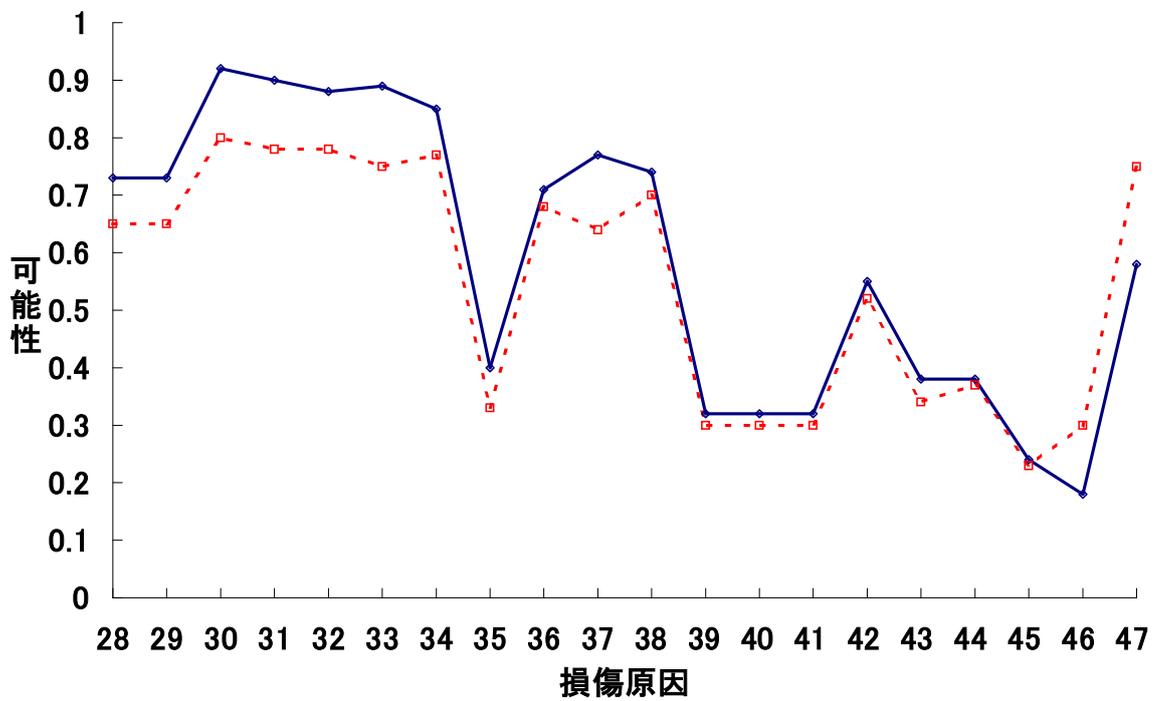


図-7.13 同時にルールベース洗練をした後の
事例4の推論結果

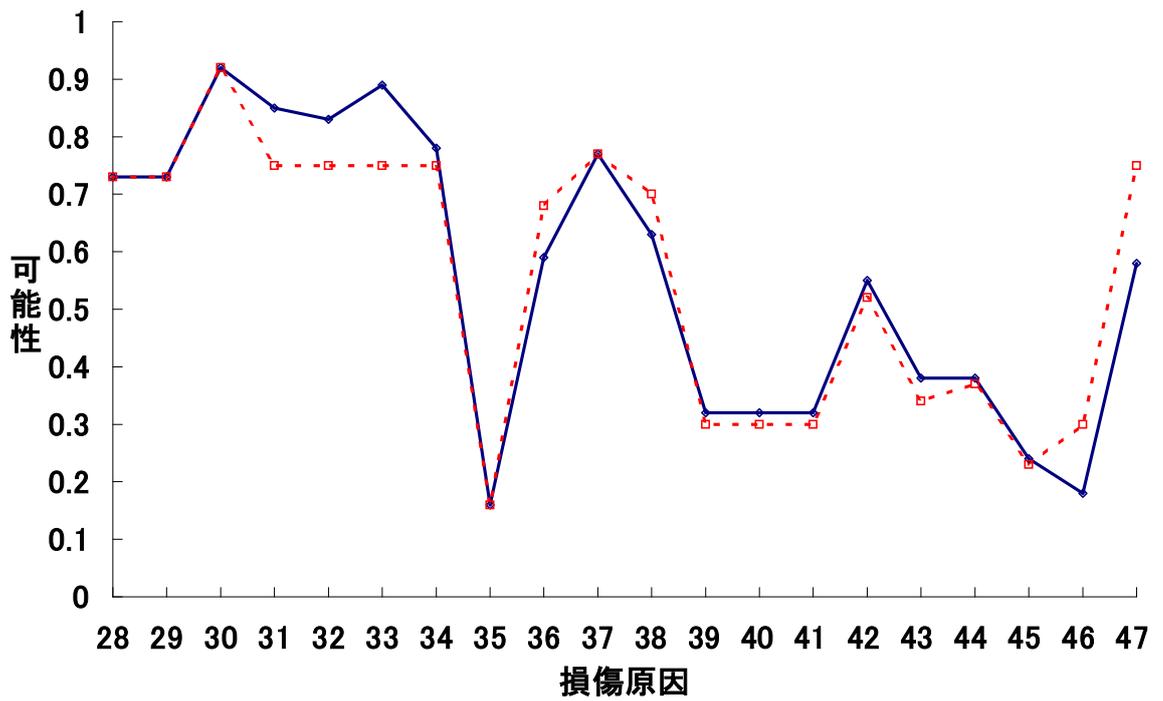


図-7.14 同時にルールベース洗練をした後の事例5の推論結果

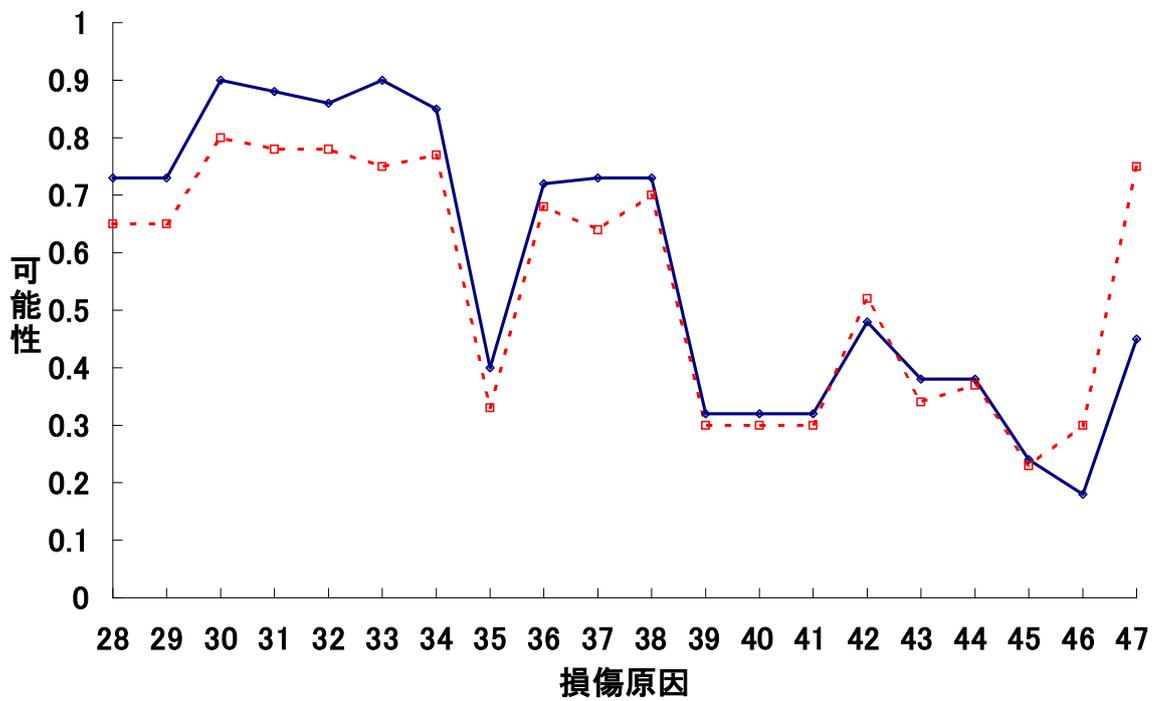


図-7.15 同時にルールベース洗練をした後の事例6の推論結果

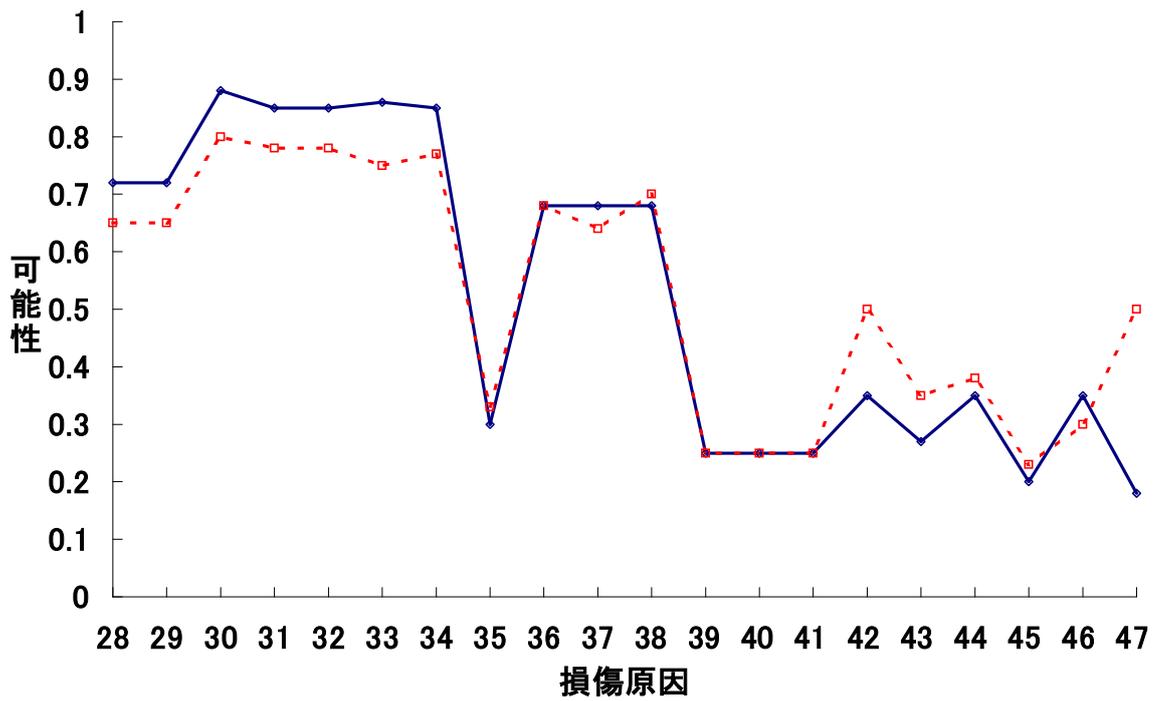


図-7.16 同時にルールベース洗練をした後の事例7の推論結果

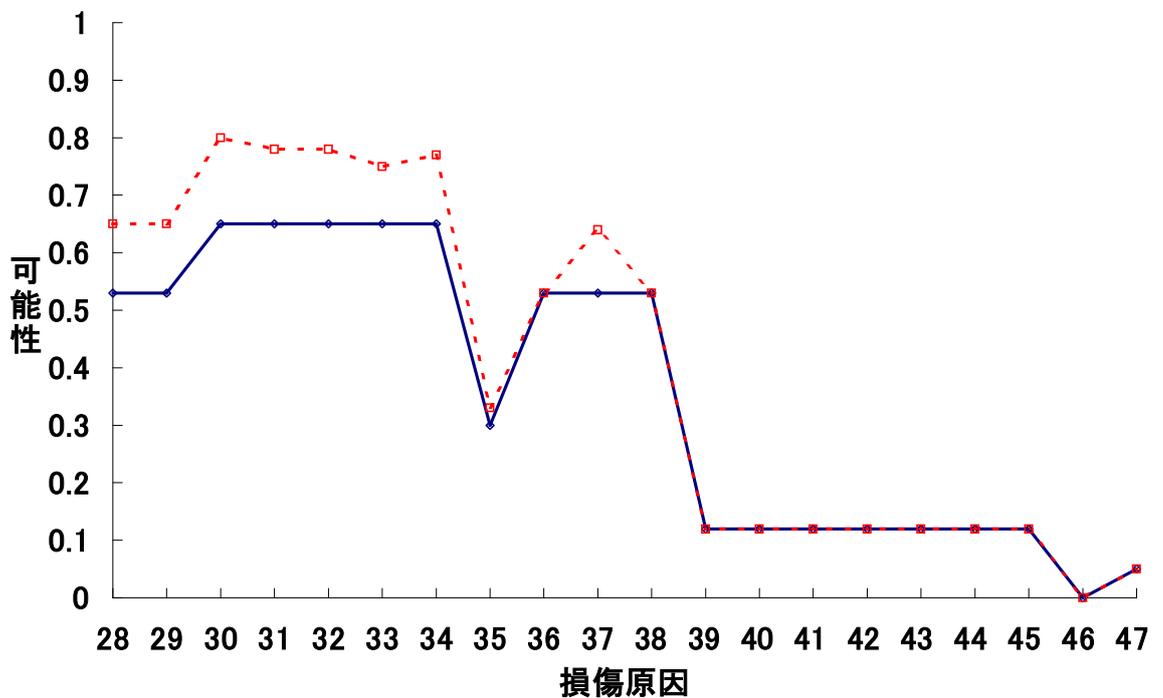


図-7.17 同時にルールベース洗練をした後の事例8の推論結果

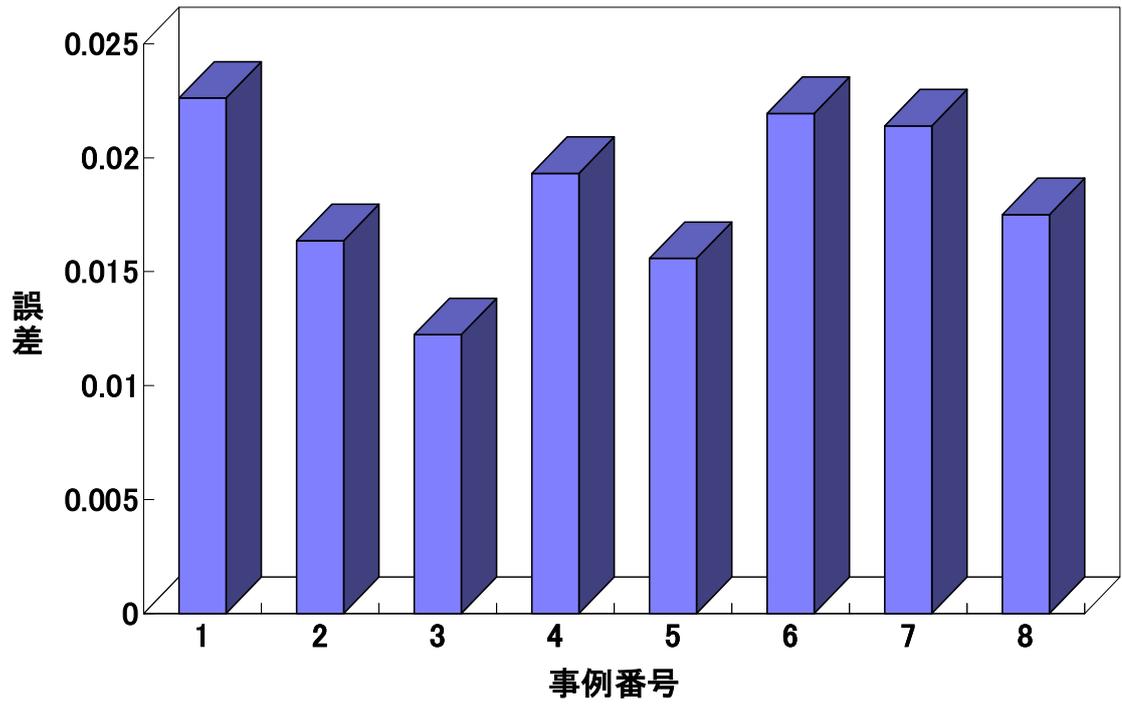


図-7.18 洗練後の推論結果と誤差

(2) 診断場所の等しい教師データを同時に提示したときの影響

診断場所の等しい事例は、表-5.18 から事例 1, 事例 4, 事例 5, 事例 6, 事例 7, 事例 8 の計 6 つ存在した。この事例を同時に提示しルールベース洗練を行い、その損傷原因の可能性を推定した。その結果を図- ー に示し、縦軸に損傷原因の可能性、横軸に損傷原因を示した。

また、6 つの事例から 5 つ選択し、選択された事例を教師データとして用い、ルールベース洗練を行い、洗練されたルールベースを用い 8 つの事例の仮説推論を行った。ルールベース洗練を実行した組合せは 6 通りである。組み合わせによるルールベース洗練後の推論結果を表-7.28 に示し、縦軸に誤差、横軸に損傷原因を取った、組み合わせによる洗練後の各事例の損傷原因と教師データとの誤差関係として示した。組み合わせを以下に示す。

- 1 パターン：事例 1, 事例 4, 事例 5, 事例 6, 事例 7 の組み合わせ
- 2 パターン：事例 1, 事例 4, 事例 5, 事例 6, 事例 8 の組み合わせ
- 3 パターン：事例 1, 事例 4, 事例 5, 事例 7, 事例 8 の組み合わせ
- 4 パターン：事例 1, 事例 4, 事例 6, 事例 7, 事例 8 の組み合わせ
- 5 パターン：事例 1, 事例 5, 事例 6, 事例 7, 事例 8 の組み合わせ
- 6 パターン：事例 4, 事例 5, 事例 6, 事例 7, 事例 8 の組み合わせ

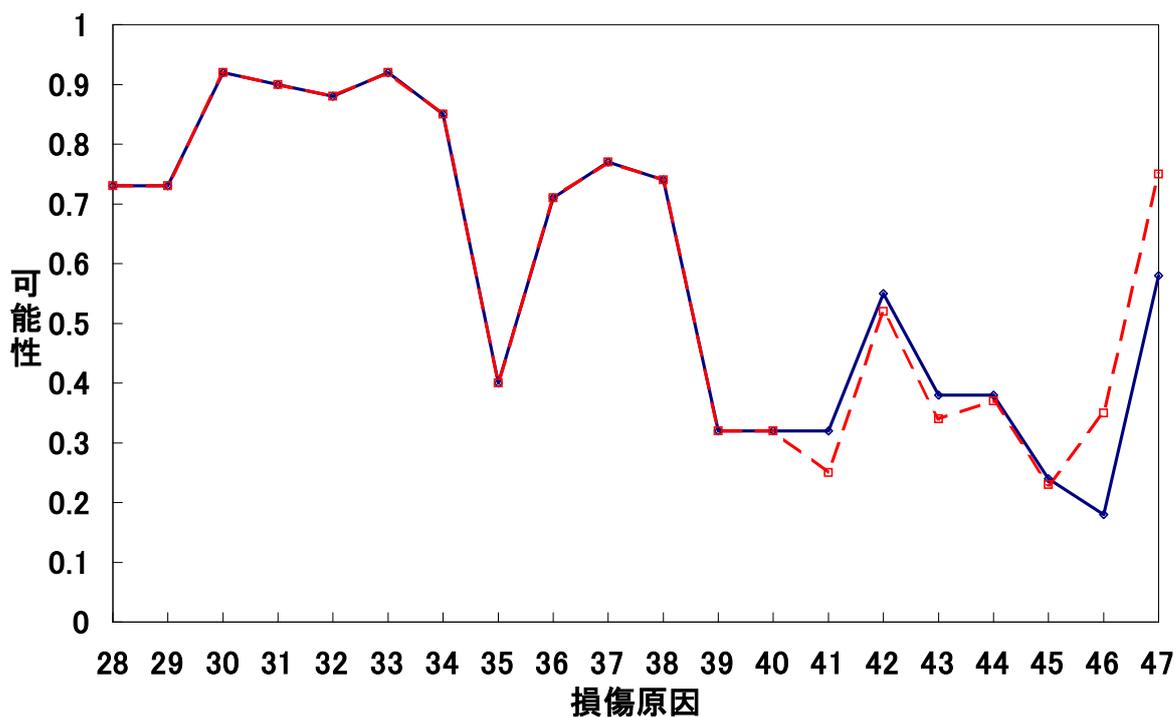


図-7.196 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
1 の推論結果

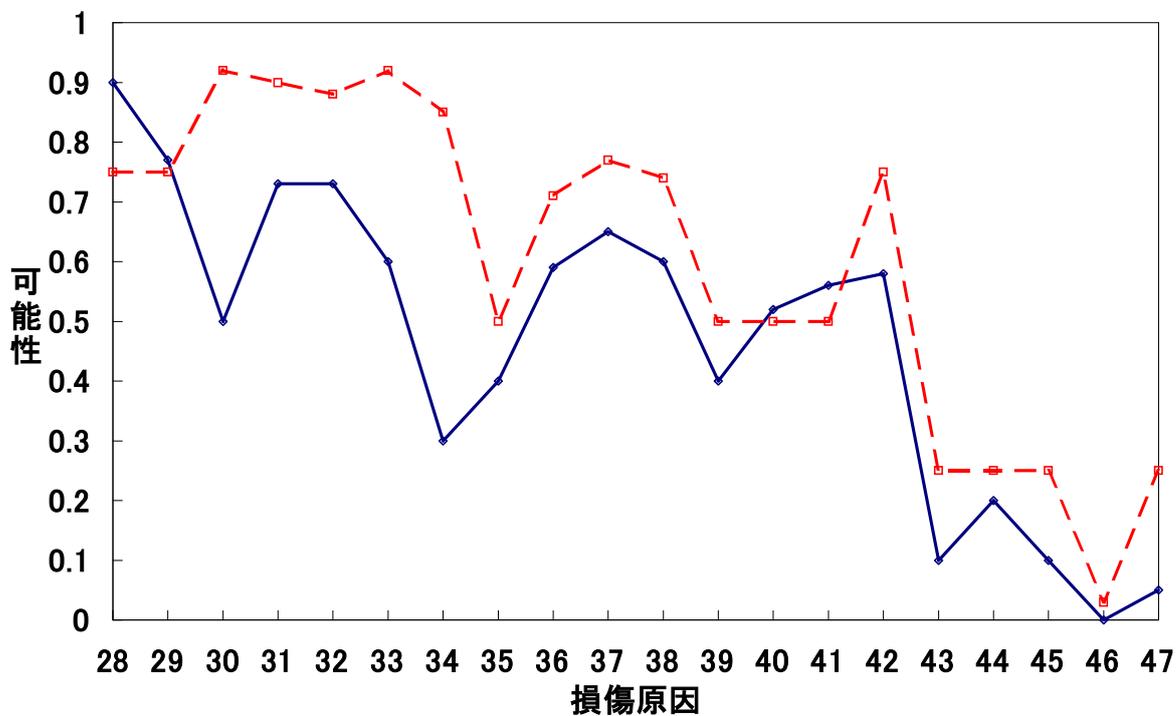


図-7.206 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
2 の推論結果

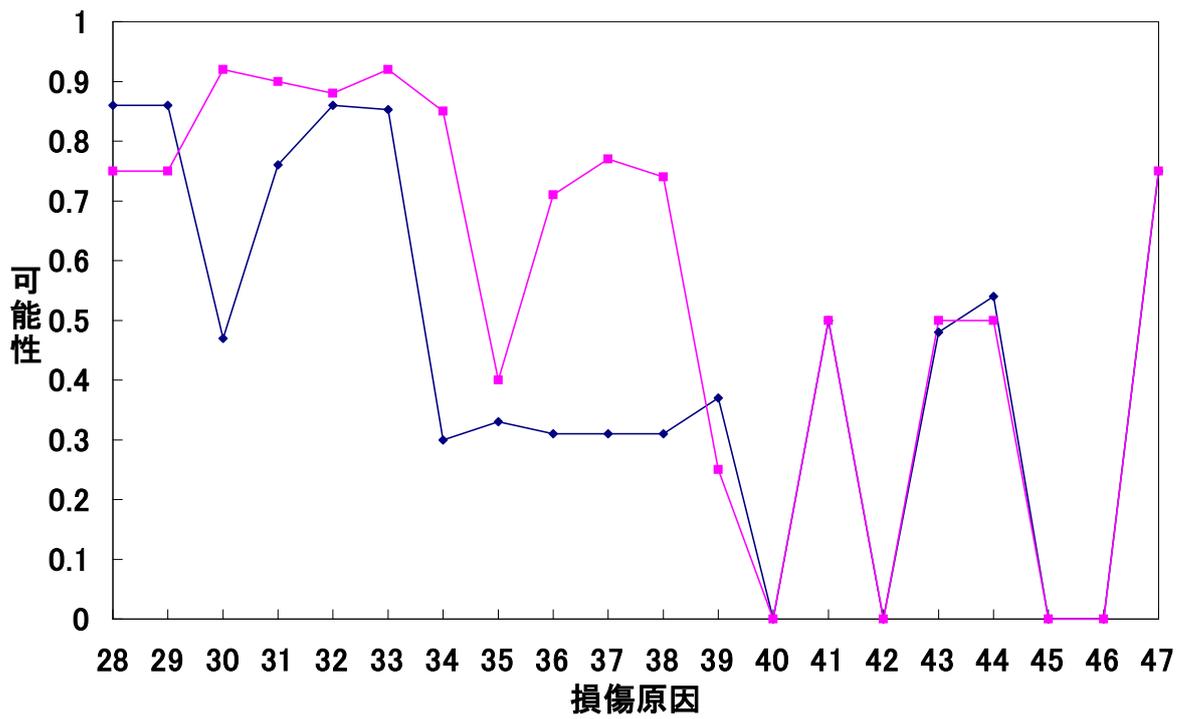


図-7.216 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
3 の推論結果

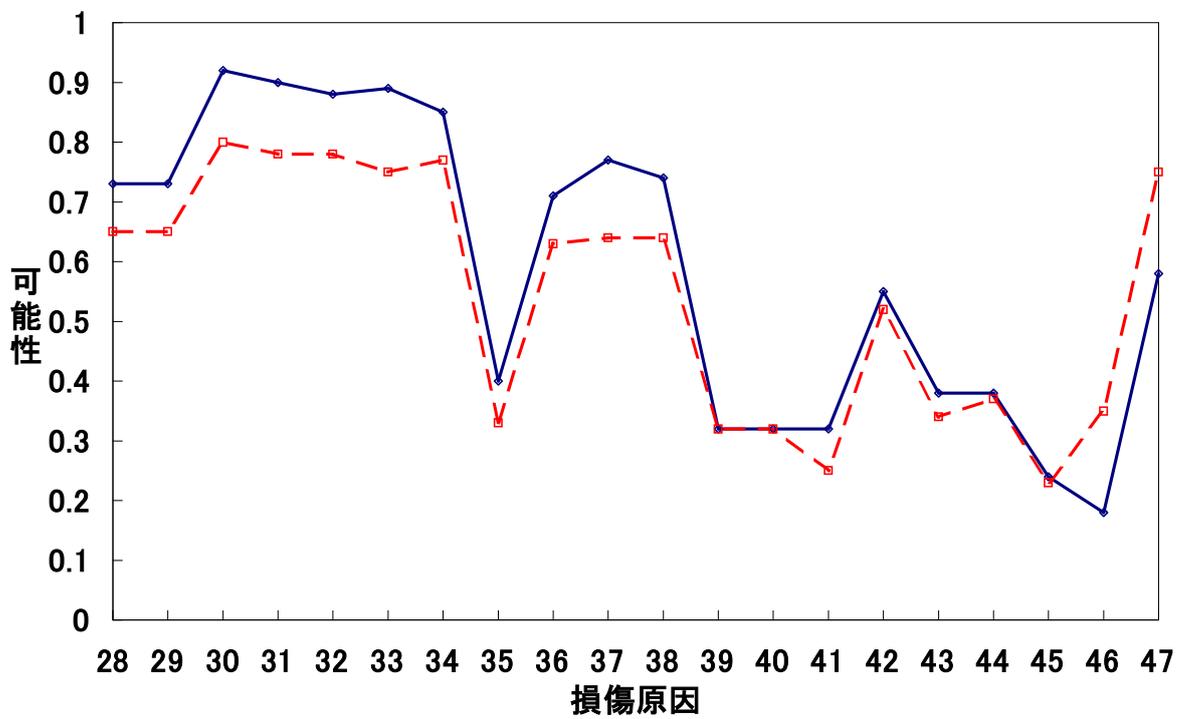


図-7.226 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
4 の推論結果

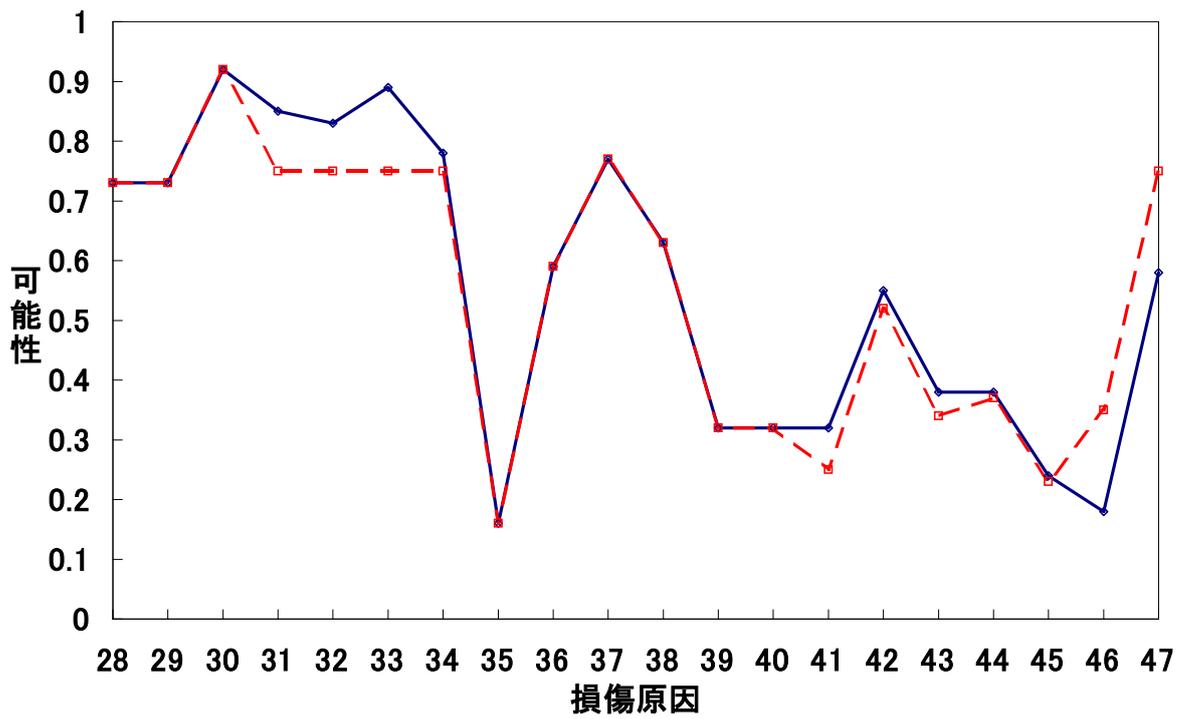


図-7.236 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
5 の推論結果

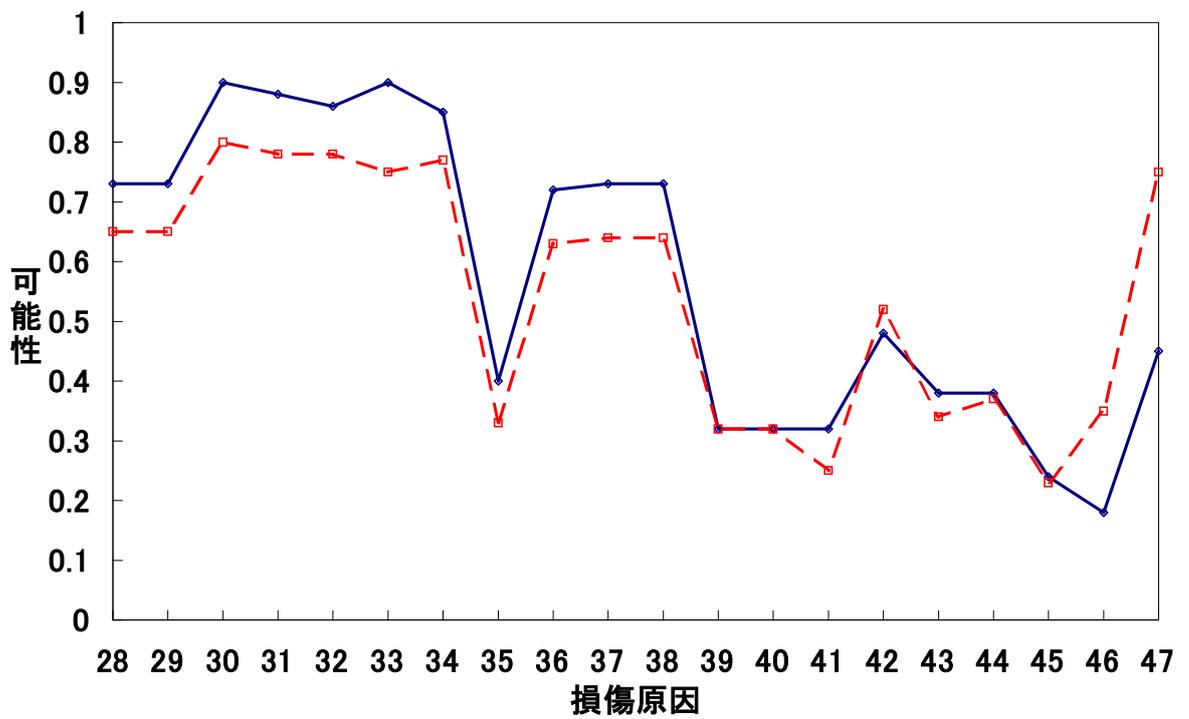


図-7.246 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
6 の推論結果

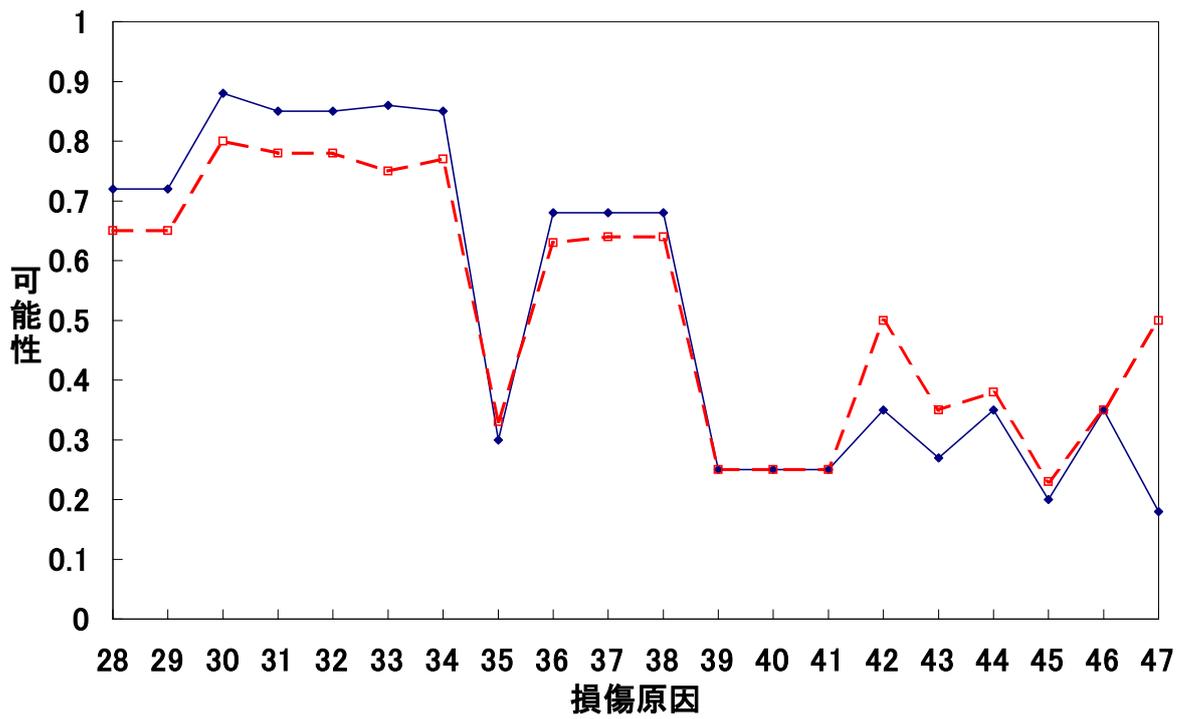


図-7.256 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例7の推論結果

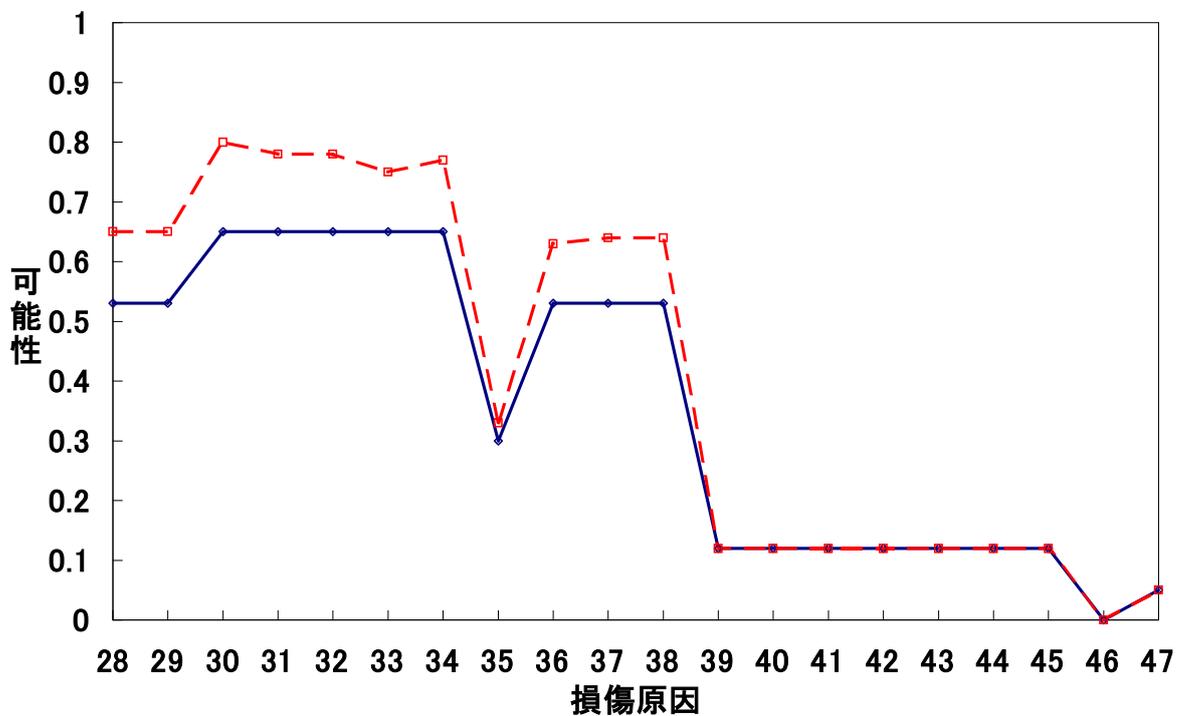


図-7.266 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例8の推論結果

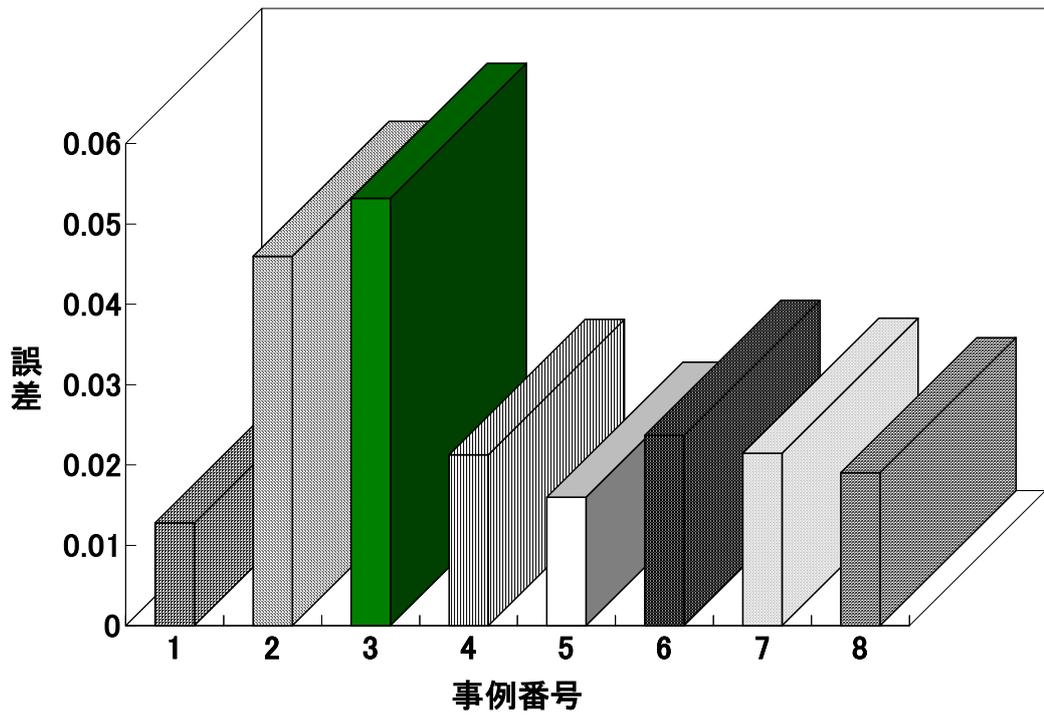


図-7.276 つの教師データを用いてルールベース洗練した後の教師データと推論された各事例の誤差

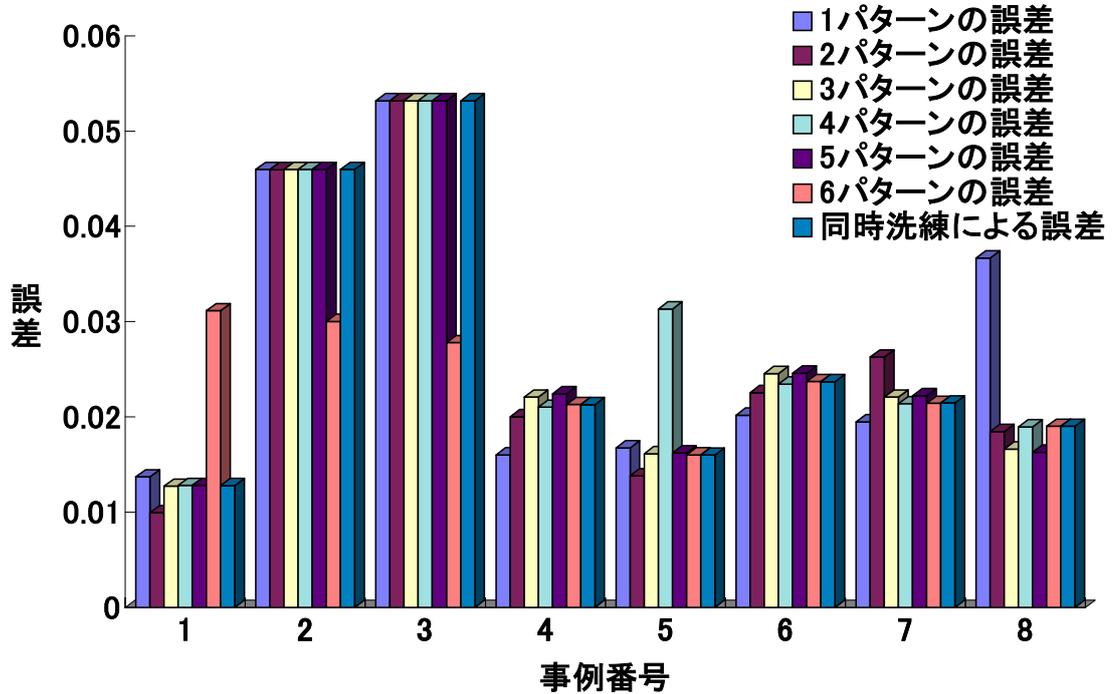


図-7.28 各パターンによる各事例の教師データと推論結果の誤差

(3) 診断場所の異なる教師データを同時に提示したときの影響

(2)で診断場所の等しい教師データを選択して行ったの同様に，ここでは，反対に診断場所の異なる事例を選択し，ルールベース洗練を行った．選択対象となった事例は，事例 1，事例 2，事例 3 である．この事例についてルールベース洗練を行った．まず，3つの事例の損傷原因を教師データとして同時に提示し，やはり各事例の損傷原因を推定した．この推定した各事例の推論結果を図-7.29 から図-7.36 に示し，縦軸に損傷原因の可能性，横軸に損傷原因を示した．また，各事例の損傷原因の可能性と既存システムの推論結果の誤差を求め，縦軸に誤差，横軸に事例番号を示した．

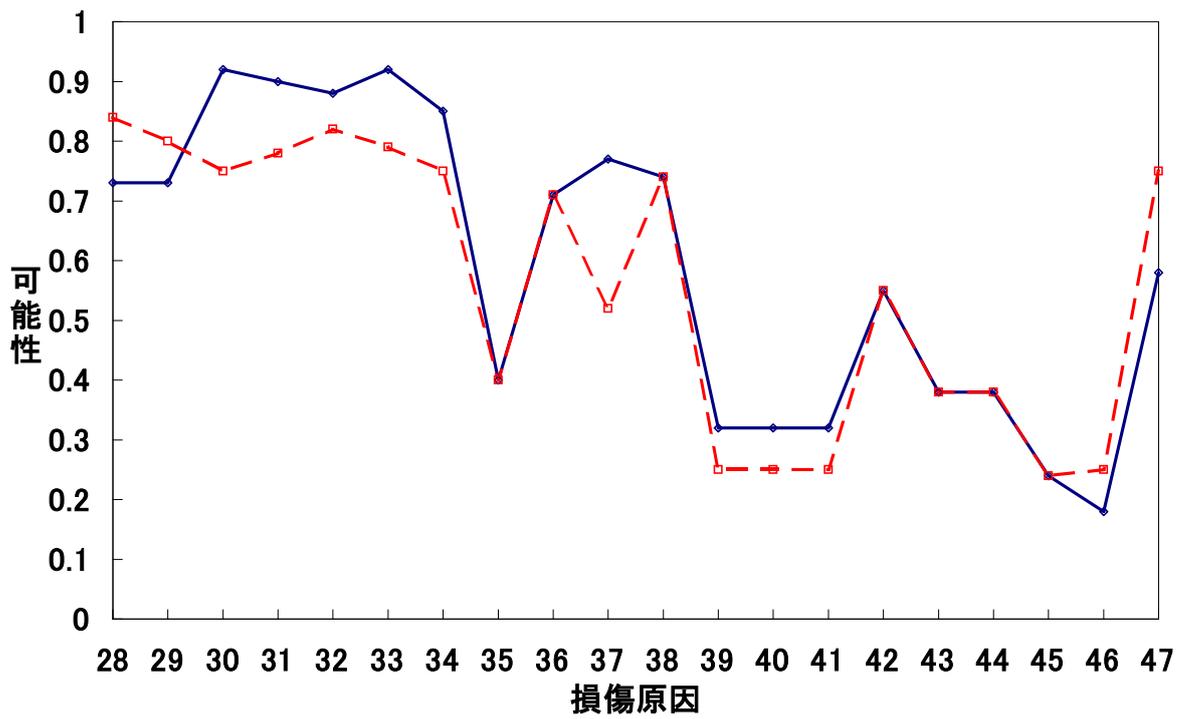
次に，やはり先ほどと同様に 3つの中から 2つ選択し，2つの事例に対する教師データを提示し，ルールベース洗練を行った．この時の組み合わせは以下に示す通りである．

1 パターン：事例 1，事例 2 の組み合わせの場合

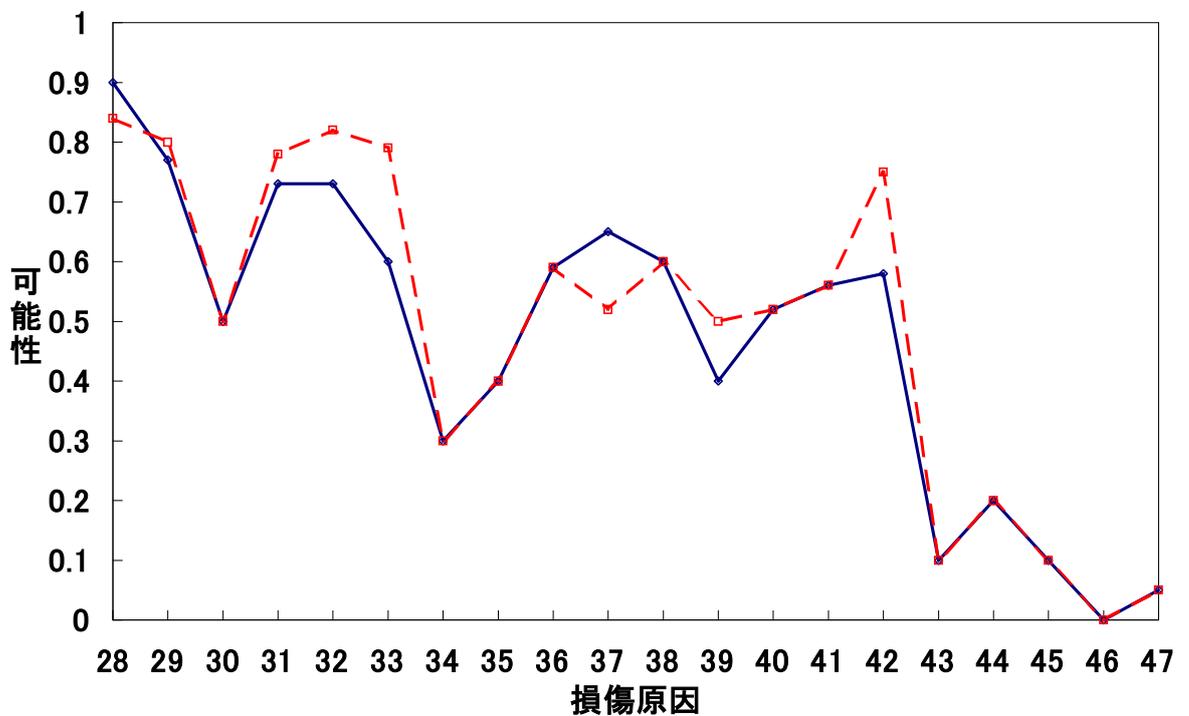
2 パターン：事例 2，事例 3 の組み合わせの場合

3 パターン：事例 1，事例 3 の組み合わせの場合

この組み合わせのパターンでルールベース洗練を行った時の各事例の推論結果と既存システムの推論結果の誤差を求め，図-7.27 で縦軸を誤差，横軸を事例番号として示した．



図一 7.293 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例 1 の推論結果



図一 7.303 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例 2 の推論結果

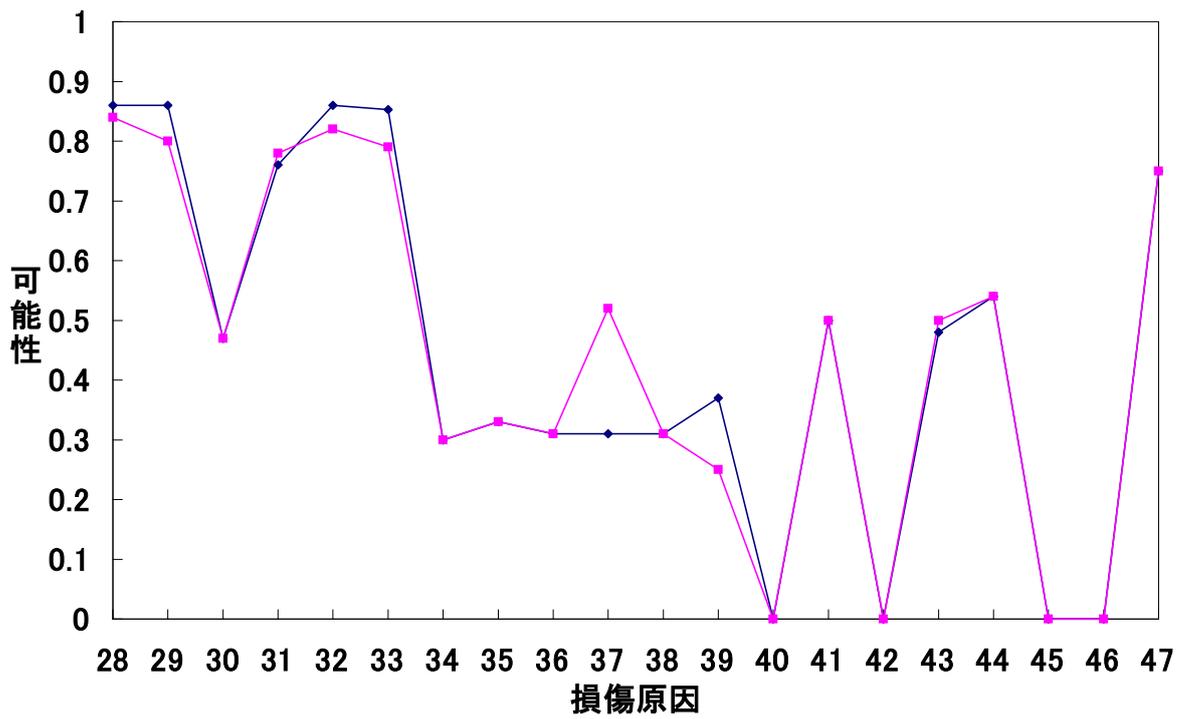


図-7.31 3つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例3の推論結果

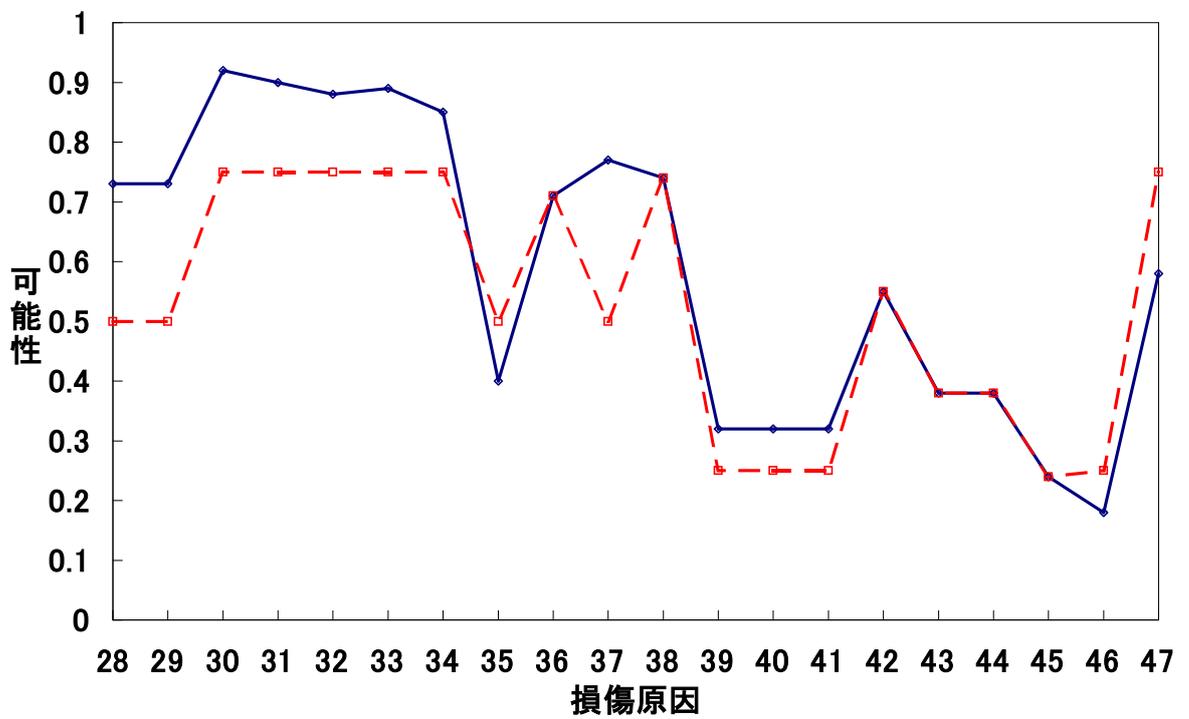


図-7.32 3つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例4の推論結果

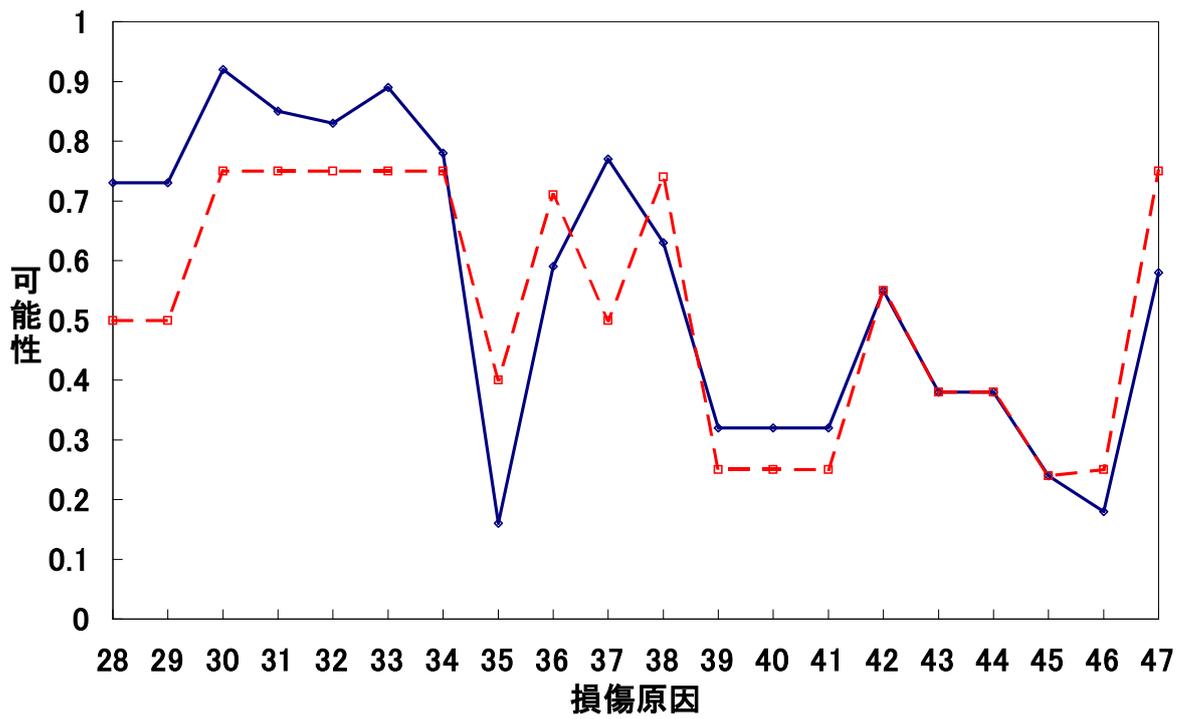


図-7.333 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
5 の推論結果

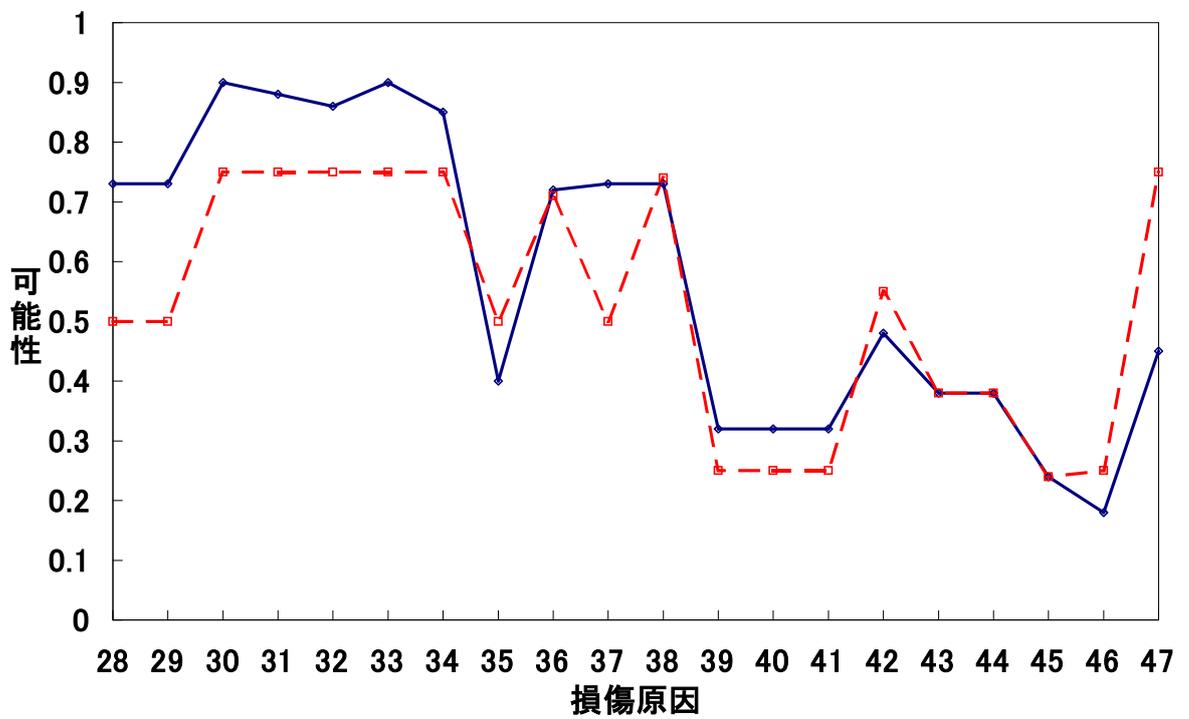


図-7.343 つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例
6 の推論結果

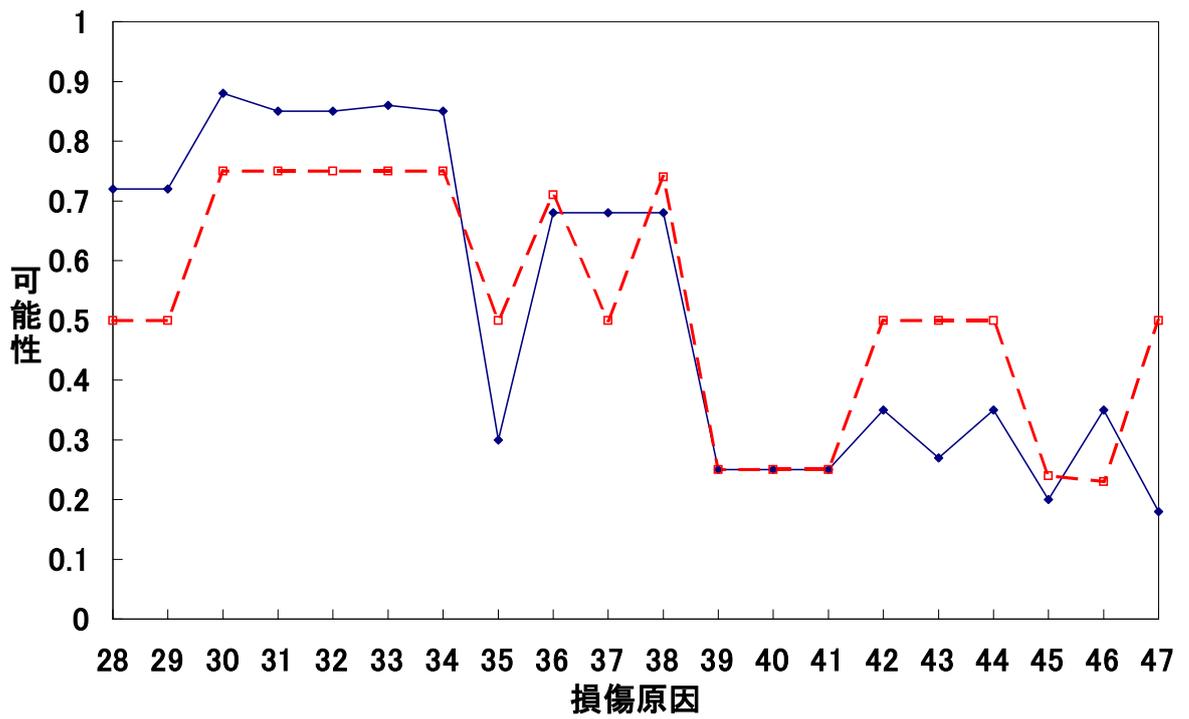


図-7.35 3つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例7の推論結果

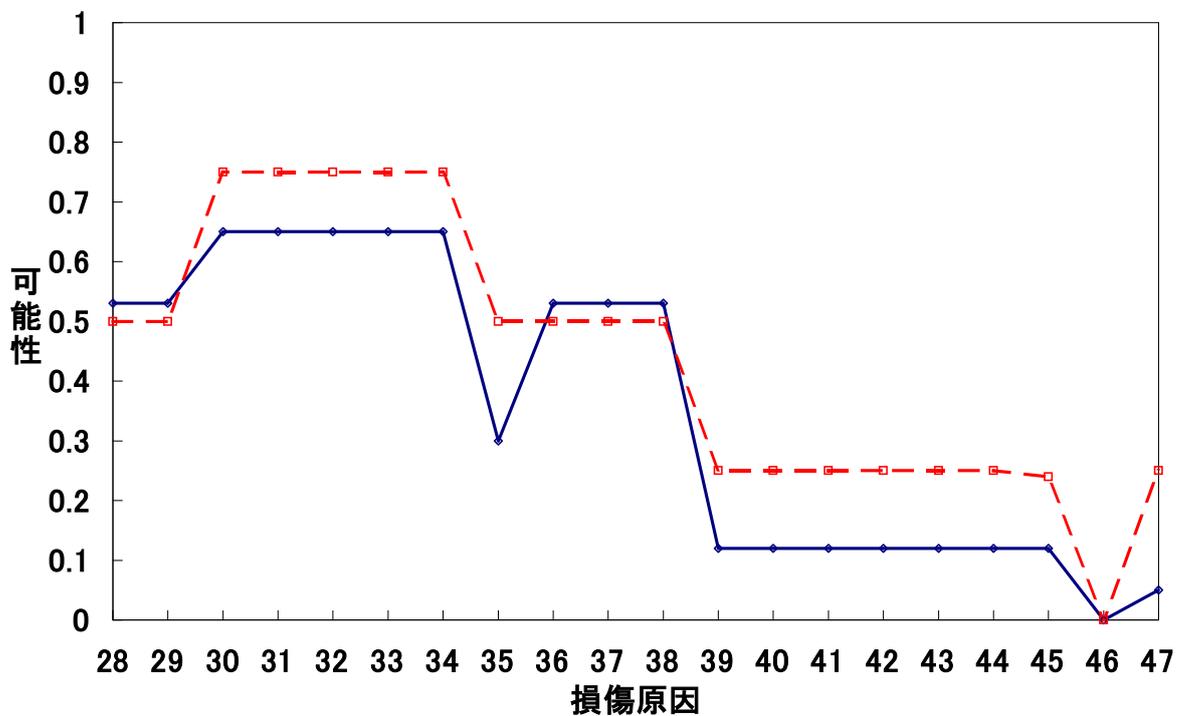


図-7.36 3つの事例を同時に提示しルールベース洗練を行った時の事例8の推論結果

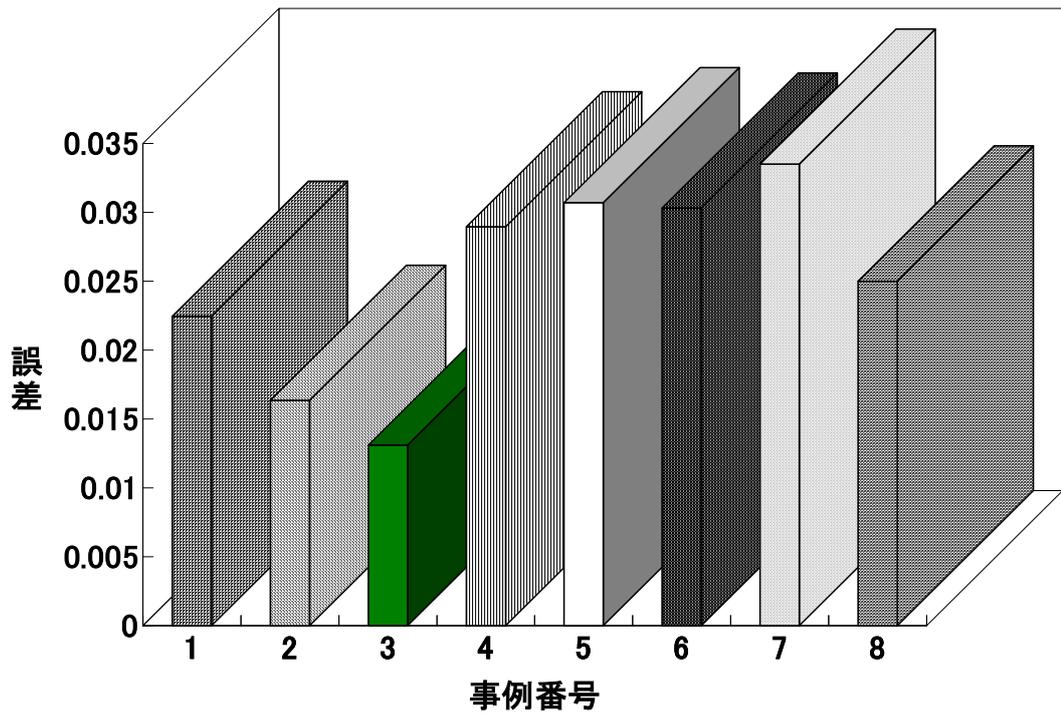


図-7.38 3つの教師データを用いて
ルールベース洗練した後の
教師データと推論された各事例の誤差

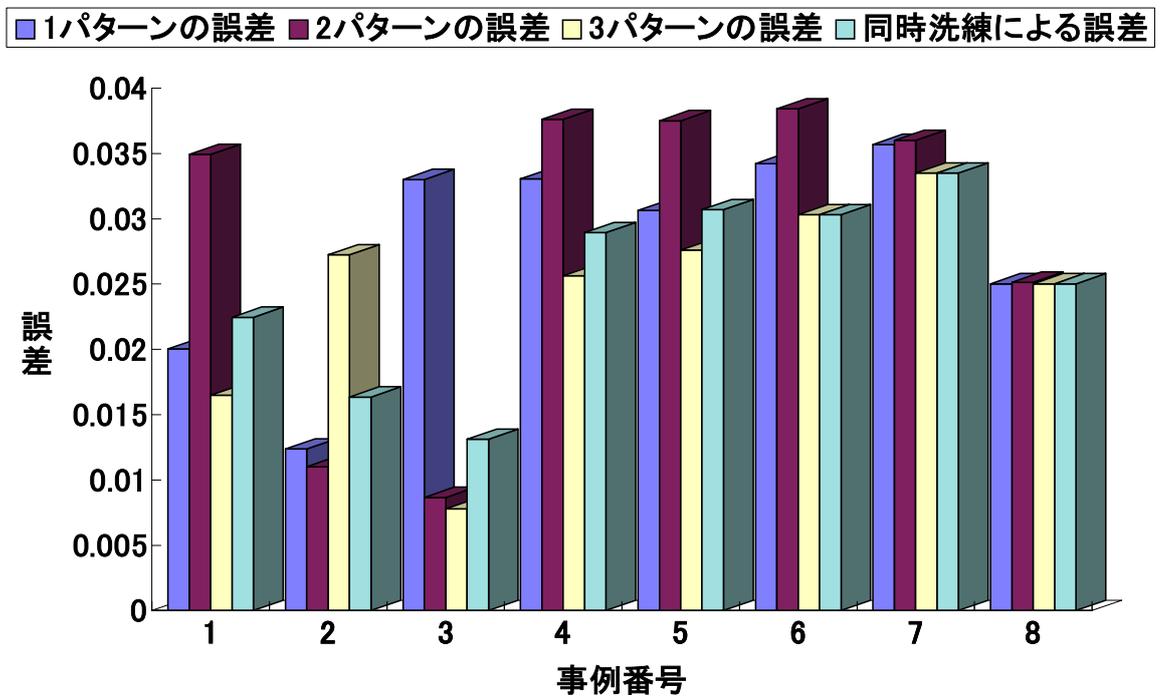


図-7.39 各パターンによる各事例の教師データと推論結果の誤差

7. 3 逐次的に教師データを提示しルールベース洗練

先の7. 2で単一の事例の提示によるルールベース洗練の手法と同時に提示しルールベース洗練を行うことを検討しているが、では逐次的に教師データを提示しルールベース洗練を行った場合を行わないと疑問が生じる。従って、逐次的な教師データを提示しルールベース洗練を試した。だが、逐次的に教師データを提示と言っても組み合わせは数万通り存在し、本推論システムでは実行することができない。そこで、2通り行った。事例1→事例2→事例3→事例4→事例5→事例6→事例7→事例8の順序で行う場合、反対に、事例8→事例7→事例6→事例5→事例4→事例3→事例2→事例1の順序で行った。前者の場合の時の逐次的にルールベース洗練を行った時、洗練に用いられなかった事例の損傷原因の可能性を推論させた。例えば、事例1の教師データを提示し、その後洗練されたルールベースを用い、事例1の損傷原因の可能性はもちろん、事例2から事例3の損傷原因の可能性も推論した。この場合の目的は、他の教師データを用い洗練されたルールベースを利用してどの程度教師データに接近するかを検討することである。この時の教師データとの各事例の誤差の関係を図-7.40に、縦軸に誤差、横軸に洗練に用いた事例として示した。後者は、前者とは異なり、他の事例によって洗練されたルールベースを用い各事例の損傷原因の可能性を実行することを省略した。しかし、事例1により洗練されたルールベースを用い、各事例の推論結果を求め、教師データと求めた各事例の推論結果を図-7.41に縦軸を誤差、横軸に事例番号として示した。

これらの図より、逐次的にルールベース洗練を行うと段階的に誤差は減少することが分かる。また、逐次的に教師データを提示し終わったルールベース洗練後の教師データとの誤差は、それほど大きくなかった。同時洗練の誤差と比較しても最も大きい誤差の差は“0.01”程度であった。

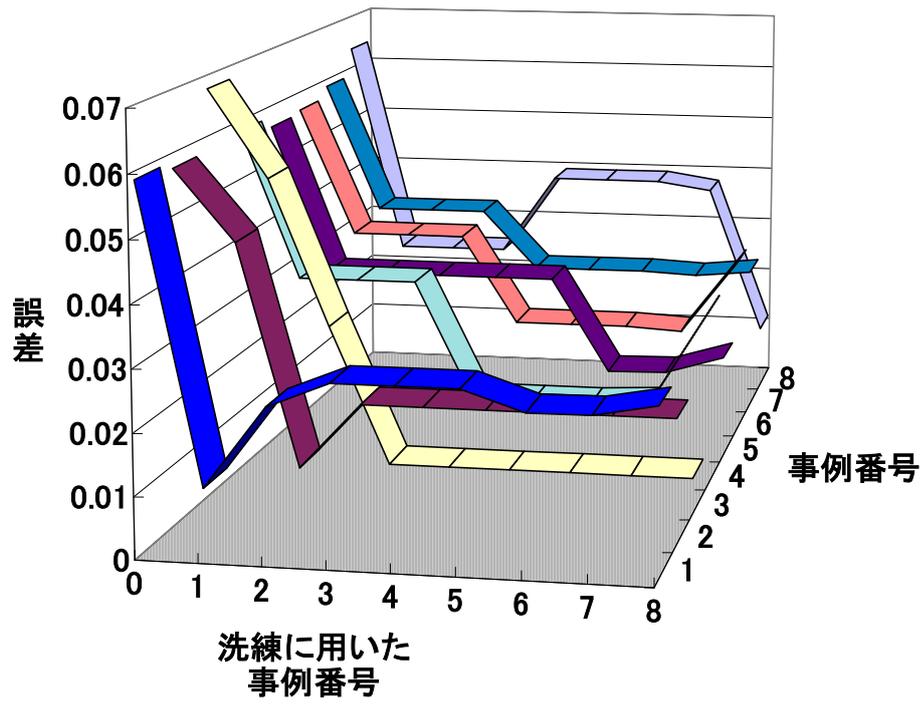


図-7.40 洗練後の教師データとの誤差

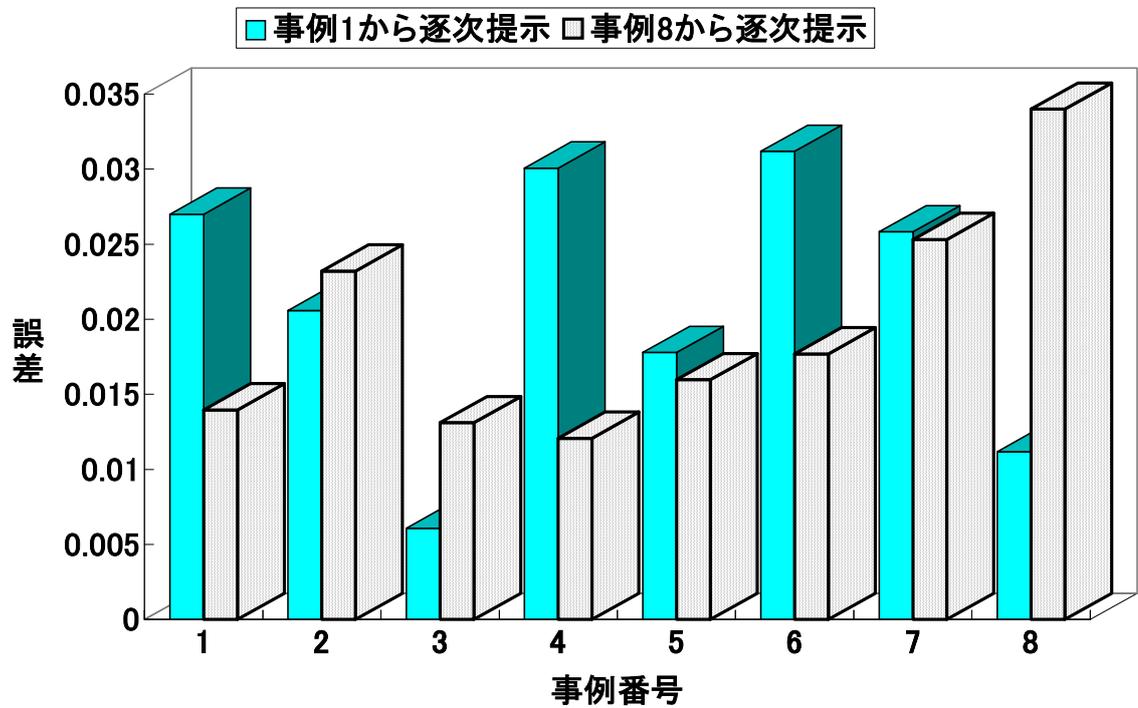


図-7.41 最終的な事例を用いて洗練した後の各事例の教師データとの誤差

第 8 章 教師データを離散的に表現したときのルールベース洗練

本論文では、三上・田中らの推論結果をそのまま教師データと見なしルールベース洗練を行ってきた。しかし、教師データとして用いた値は、参考文献一覧の文献[]の論文から抽出された値であり、取り込むときに不確かさが考えられた。そこで、離散的に表現した値を教師データとして用いたときの本推論システム結果は、どのようになるか試してみた。離散的に表現する場合は、2通り表現した。1つは、仮説の可能性を5分割して行う場合(例えば、“存在する可能性が非常に低い、低い、どちらとも言えない、高い、非常に高い”と考え)と7分割(例えば、“存在する可能性が非常に低い、低い、やや低い、どちらとも言えない、やや高い、高い、非常に高い”と考える)にしてルールベース洗練を行いました。その時に表現する範囲を表-8.1に示す。ルールベース洗練の方法は、本論文の第7章の同時に複数教師データを提示し、ルールベース洗練を行う方法を用いることにした。やはり、洗練した後に仮説推論を行った。

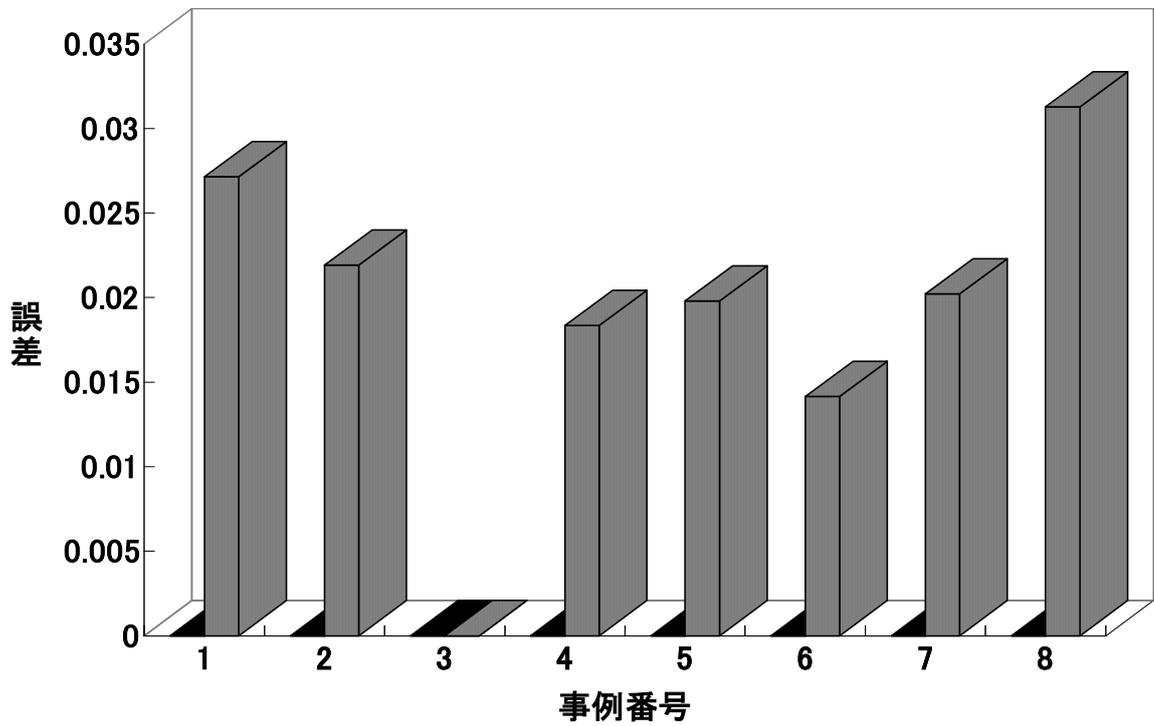
それぞれの離散的な表現による推論結果と教師データとの誤差を図-8.1に示した。その誤差結果は縦軸に誤差、横軸に事例番号を示すことにする。また、この時の誤差を取るときに用いる教師データも離散値で表現した。

図-8.1の誤差結果より、5分割して教師データを離散的に表現してルールベース洗練を行うと誤差結果では、すべて0.0となった。しかし、すべての推論結果が教師データの離散値に落ち着いたのではない。各原因の差は、存在していた。また、教師データを7分割をルールベース洗練を行うと細分化されたために教師データとの誤差が明確に出力されることとなった。また、どちらの分割方法でも誤差が0.0であったものは、すべて教師データの離散値のデータと完全に一致していた。

表－8.1 離散値の上限と下限

| 下限値 | 上限値 | 離散値 | 下限値 | 上限値 | 離散値 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.000 | 0.125 | 0.000 | 0.000 | 0.083 | 0.000 |
| 0.125 | 0.375 | 0.250 | 0.083 | 0.250 | 0.166 |
| 0.375 | 0.675 | 0.500 | 0.250 | 0.416 | 0.332 |
| 0.675 | 0.875 | 0.750 | 0.416 | 0.585 | 0.500 |
| 0.875 | 1.000 | 1.000 | 0.585 | 0.751 | 0.668 |
| | | | 0.751 | 0.917 | 0.834 |
| | | | 0.917 | 1.000 | 1.000 |

ただし、等号は下限値側に付ける
また上限値1.0だけは等号を含む



図－8.1 離散的表現による誤差の相違

第9章 結論

仮説推論は、既存システムの推論結果と本推論システムの推論結果とを比較すると既存システムの推論結果の軌跡と類似した軌跡を形成した。このことより、通常の知識ベース・システムの能力を持つことが考えられた。また、適用したルールベースでは、診断場所の情報がかなり重要性があると判断された。

次に、ルールベース洗練について検討する。単一の事例を提示しルールベース洗練し、その後の仮説推論では教師データとして用いたデータとほぼ一致する結果となった。また、一致性は、教師データと推論した結果からもより良いと判断された。

次に、教師データとして提示する事例は様々な情報が存在すると認識した。その対策として教師データとして存在する事例を同時に提示し、ルールベース洗練を行った場合は、既存システムの推論結果に一致した結果とは行かなかった。しかし、全体的に既存システムの推論結果に接近していることが分かった。診断場所の一致する6つの教師データを用い、また、その6つの教師データ中から任意に5つ取り出しルールベース洗練を行った場合では、他の教師データを用いても同様な推論結果が得られるようにルールベースは洗練されている。この要因として教師データの類似性が今回考えられるのではないかと考えられる。また、診断場所の情報が異なる教師データを用いてルールベース洗練を行うと、やはり、診断場所の情報が同じ事例の推論結果は、教師データと同様な軌跡を辿ることが分かった。従って、複数の教師データを同時に提示しルールベース洗練を行うのと単一の教師データを提示してルールベース洗練を行う場合とで判断すると、同時に提示してルールベース洗練を行った方が一致度では、単一の提示によるルールベース洗練の方が良く、また一致はしなくとも同時に提示したルールベース洗練では、提示された教師データに接近される。

また、逐次的に教師データを提示し、ルールベース洗練を行った場合も行った。一番最初に提示された教師データにより洗練された値は、教師データとの誤差は、開く一方であるが、この推論結果は、同時に提示しルールベース洗練を行った推論結果と非常に類似した値となった。

次に、教師データを離散的に表現しルールベース洗練では、教師データを細分化すればするほど教師データとの一致性は減少し、かつ誤差は大きくなる。

最後に、本推論システムは、既存の知識ベース・システムの知識ベースがルール表現することができるならば、知識の共有化が行えると考えら

れる。また、階層構造をしている知識を取り込むことができると思われる。

謝辞

本研究を行うに当たり、皆川 勝助教授、佐藤安雄技師に多大なご助言・ご助力を頂き誠にこの場を借りてお礼を申し上げます。また、三上市蔵氏、田中成典氏にも多大な助言・ご助力を頂きお礼を申し上げます。最後に、建設情報研究室の修士1年の方々、4年生によるデータ作成、データ処理を協力して頂きお礼を申し上げます。

参考文献

- 1)石塚 満 : Dempster&Shafer の確率理論, 電子通信学会誌, 電子通信学会, Vol.66, No.9, pp.900-903, 1983.9.
- 2)古田 均・King-Sun Fu・James T.P.Yao : 知識工学—エキスパートシステム—の構造工学への応用, 土木学会誌, 土木学会, pp.28-33, 1985.9.
- 3)中村秀治・寺野隆雄 : 土木構造物エキスパートシステム, オーム社, 1987.
- 4)宮本文穂・益成一郎・西村 昭 : コンクリート橋診断エキスパートシステムの開発と実用化, 材料, pp.256-262, 1991.3.
- 5)宮本文穂・西村 昭 : コンクリート橋の安全性評価と寿命予測, 材料, pp.263-269, 1991.3.
- 6)古田 均・尾崎美伸・白石成人 : ファジィ理論の RC 床版の疲労解析への応用, 材料, pp.270-275, 1991.3.
- 7)宮本文穂・他 : アンケートを利用した RC 橋診断エキスパートシステムの知識更新に関する一考察, 土木学会関西支部年講, 1991.6.
- 8)串田守可・徳山貴信・宮本文穂 : 鋼橋損傷要因の階層化におけるファジィ階層化手法の適用について, 日本ファジィ学会誌, 日本ファジィ学会, Vol.3, No.4, 1991.11.
- 9)鋼構造委員会疲労変状調査小委員会 : 鋼橋の疲労変状調査, 土木学会論文集, 土木学会, No.368/I-5, pp.1-12, 1986.4.
- 10)中村秀治・松浦真一・松井正一・寺野隆雄 : 知識工学的手法に基づく水力鋼構造物の寿命予測, 土木学会論文集, 土木学会, No.368/I-5, pp.301-310, 1986.4.
- 11)中村秀治・松浦真一・寺野隆雄・篠原靖志 : 水力鋼構造物の寿命予測エキスパート・システムとその適用, 土木学会論文集, 土木学会, No.374/I-6, pp.513-521, 1986.6.23.

- 12)松井繁之・前田幸雄：道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案，土木学会論文集，No.374/I-6，pp419－426，1986.10.
- 13)白石成人・古田 均・馬野元秀・川上宏一郎：RC 床版の耐用性評価システムに関する基礎的研究，土木学会論文集，土木学会，No.386/I-8，pp.34－39，1987.3.
- 14)三木千寿・坂野昌弘・館石和雄・福岡良典：鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析，土木学会論文集，土木学会，No.392/I-9，pp.403－410，1988.4.
- 15)三上市蔵・家頭圭昌・河野吉次郎・広兼道幸：切土のり面保護工選定に関する知識ベース・システム，土木学会論文集，土木学会，No.403/VI-10，pp.121－129，1989.3.
- 16)市原義久・五十嵐善一：シールド施工計画におけるエキスパートシステム適用に関する研究，土木学会論文集，土木学会，No.427/VI-14，pp.95－104，1991.3.
- 17)小間井孝吉・木俣 昇・小堀為雄：維持・管理計画のための橋梁評価システムに関する基礎的研究，No.428/I-15，1991.4.
- 18)岩松幸雄・早川裕史・原田隆郎：道路構造物の維持管理システムに関する研究，土木学会論文集，土木学会，No.444/VI-16，pp.69－76，1992.3.
- 19)岩松幸雄・早川裕史・原田隆郎：橋梁の比較設計支援エキスパートシステムに関する研究，土木学会論文集，土木学会，No.453/VI-17，pp.51－57，1992.9.
- 20)三上市蔵・田中成典・土田貴敬・北岸秀一：ネットワークモデルによる知識生成機能を持った診断型推論エンジン，土木学会論文集，土木学会，No.453/VI-17，pp.41－50，1992.9.
- 21)橋梁診断システム構築における知識獲得手法の提案，土木学会論文集，土木学会，No.513/I-31，pp.139－150，1995.4.
- 22)三上市蔵・江澤義典・田中成典・朝倉隆文：道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷度判定と補修工法選定のための知識ベースエキスパートシステム，構造工学論文集，土木学会，Vol.33A，pp.317－325，1987.4.
- 23)三上市蔵・松井繁之・田中成典・新内康芳：道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷要因推定のためのルールとフレームによる知識ベース・エキスパートシステム，構造工学論文集，土木学会，pp551－562，1988.3.
- 24)三上市蔵・三木千寿・田中成典：鋼道路橋の疲労亀裂に関するルールとフレームによる知識ベース・エキスパートシステム，構造工学論文集，土木学会，Vol.35A，pp.977－990，1989.3.
- 25)西土・前田・野村：河川橋梁の上下部工形式のためのエキスパートシステム構築における一考察，構造工学論文集，土木学会，Vol.35A，pp.489－502，

- 1989.3.
- 26)西土・前田・島田・野村：橋梁形式選定エキスパートシステムにおける橋上走行時の運転者の感覚評価に関する研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.36A，pp.513-524，1990.4.
- 27)三上市蔵・三木千寿・田中成典・土田貴敬：鋼橋疲労損傷の補修法選定システムのための因果ネットワークによる推論手法，構造工学論文集，土木学会，Vol.36A，pp.1003-1014，1990.3.
- 28)宮本文穂・他：コンクリート橋診断エキスパートシステムの開発と実用化，構造工学論文集，土木学会，Vol.37A，pp.-，1991.3.
- 29)三上市蔵・田中成典・倉地 晶：鋼橋疲労損傷の補修方法選定のための学習機能のあるニューラルネットワークシステム，構造工学論文集，土木学会，Vol.37A，pp.655-668，1991.3.
- 30)西土・前田・倉地・米田：橋梁形式選定エキスパートシステムにおける景観の評価方法に関する一考察，Vol.37A，pp.699-707，1991.3.
- 31)西土・前田・倉地・米田：，構造工学論文集，土木学会，Vol.38A，pp.557-570，1992.3
- 32)三上市蔵・田中成典・倉地・米田：鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムにおける類推推論と負の学習の実現，構造工学論文集，土木学会，Vol.38A，pp.-，1992.3.
- 33)三上市蔵・田中成典・北岸秀一・神戸和仁：鋼橋疲労損傷の補修選定システムにおける知識の再利用，構造工学論文集，土木学会，Vol.38A，pp.529-542，1992.3.
- 34)串田守可・徳山貴信・宮本文穂：橋梁診断における経験的知識に内在するあいまいさの定量化に対するファジイエントロピーの適用，構造工学論文集，土木学会，Vol.38A，pp.571-584，1992.3.
- 35)串田守可・徳山貴信・宮本文穂：橋梁診断における知識獲得手法の提案，構造工学論文集，土木学会，Vol.39A，pp.503-516，1993.3.
- 36)田中成典・三上市蔵・前田・小林：鋼道路橋の疲労亀裂に対する補修・補強の類推推論選定システム，構造工学論文集，土木学会，Vol.42A，pp.-，1996.3.
- 37)田中成典・三上市蔵・前田・小林：事例ベース推論とルールベース推論を併用した鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムの開発，構造工学論文集，土木学会，Vol.42A，pp.-，1996.3.
- 38)西村 昭・藤井 学・宮本文穂・杉江 功：道路橋耐用診断システム化のためのデータベースの開発，土木学会第40回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.291-292，1985.
- 39)橋本光行・白石成人・古田均：プロダクションシステムを用いた構造物の損

- 傷度診断，土木学会第 40 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.285－286，1985.
- 40)西村 昭・藤井 学・宮本文穂・小笹 勝：構造診断へのファジイ集合論の適用に関する基礎的研究，土木学会第 40 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.283－284，1985.
- 41)杉舘政雄・稲葉紀昭・阿部 允・小芝明弘：鉄桁維持管理システムの試作と実用化における課題，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.603－604，1986.11.
- 42)川上宏一郎・白石成人・古田 均：RC 床版の耐用性評価のためのエキスパートシステムの開発に関する基礎的研究，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.601－602，1986.11.
- 43)中村秀治・松浦真一・寺野隆雄：水力鋼構造物の寿命予測エキスパートシステムとその適用，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.599－600，1986.11.
- 44)西村 昭・藤井 学・宮本文穂・田中常夫：橋梁損傷要因の階層化に関する研究，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.597－598，1986.11.
- 45)西村 昭・宮本文穂・梶谷義昭・杉江 功：橋梁診断へのアンケート調査利用に関する一考察，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.593－594，1986.11.
- 46)西村 昭・藤井 学・宮本文穂・富田隆弘：ファジイ集合論の橋梁診断への応用に関する基礎的研究，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.587－588，1986.11.
- 47)西村 昭・藤井 学・宮本文穂・春名新義・杉江 功：既存橋梁の耐震力の一評価法とその検証に関する研究，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.585－586，1986.11.
- 48)西村 昭・宮本文穂・新宅正道：橋梁の力学的挙動化に基づく損傷評価に関する基礎的研究，土木学会第 41 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.583－584，1986.11.
- 49)山本信哉・白石成人・古田 均・中島裕之：橋梁の仮説工法選定のためのエキスパートシステムの改善，土木学会第 43 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.512－513，1988.10.
- 50)三上市蔵・三木千寿：，田中成典：道路橋の疲労亀裂に関するエキスパート・システム－システムの構築－，土木学会第 43 回年次学術講演会第 I 部門，土木学会，pp.350－351，1988.10.
- 51)鋼道路橋の疲労亀裂に関するエキスパート・システム－知識ベースの整理

- ー, 土木学会第 43 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.352-353, 1988.10.
- 52)川上宏一郎・白石成人・古田 均・馬野元秀: RC 床版の健全度評価のためのファジイエキスパートシステム, 土木学会第 43 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.18-19, 1988.10.
- 53)寺野隆雄・中村秀治: 土木分野におけるエキスパートシステムの動向と分析, 土木学会第 43 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.16-17, 1988.10.
- 54)磯 光夫・前田研一・西土隆幸: 橋梁景観のためのカラーシミュレーションシステムの開発に関する一考察, 土木学会第 44 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.624-625, 1989.10.
- 55)細谷 学・白石成人・古田 均・大志万和也: 学習機能を持った橋梁設計支援エキスパートシステムに関する研究, 土木学会第 44 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.622-623, 1989.10.
- 56)大槻正幸・堀口哲夫・早田光利・中村和也: 疲労損傷評価のためのサポーティングシステムの開発(BMC サポーティングシステム・疲労), 土木学会第 44 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.604-605, 1989.10.
- 57)三上市蔵・田中成典・土田貴敬: 道路橋 RC 床版の損傷要因推定のためのネットワーク推論システムーシステムの実行と評価ー, 土木学会第 44 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.338-339, 1989.10.
- 58)三上市蔵・田中成典・土田貴敬: 道路橋 RC 床版の損傷要因推定のためのネットワーク推論システムーシステムの構築ー, 土木学会第 44 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.340-341, 1989.10.
- 59)山本広祐・中村秀治・工藤康二・篠原靖志: 港湾鋼構造物の腐食劣化度判定システムの構築, 土木学会第 45 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.344-345, 1990.9.
- 60)馬 智亮・山田健太郎・岡田隆彦・土橋 勝: 配水管破裂事故のデータベースの作成及びその活用について, 土木学会第 45 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.358-359, 1990.9.
- 61)古川正典・宮本文穂・益成一郎: 橋梁診断エキスパートシステムにおける知識の更新手法, 土木学会第 45 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.356-357, 1990.9.
- 62)横溝茂樹・山田善一・家村浩和・古田 均: 橋梁に耐震性評価に関するエキスパートシステム導入, に試み, 土木学会第 45 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.354-355, 1990.9.
- 63)西土隆幸・前田研一・島田清明・野村国勝: 橋梁形式選定のためのエキスパートシステムにおける走行性の評価方法について, 土木学会第 45 回年次学

- 術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.350-351, 1990.9.
- 64)大場清貴・岩松幸雄・黒沼秀友: 橋梁比較設計支援エキスパートシステムにおける径間割り自動決定に関する研究, 土木学会第 45 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.346-347, 1990.9.
- 65)山本広祐・中村秀治・工藤康二・篠原靖志: 港湾鋼構造物の腐食劣化度判定システムの構築, 土木学会第 45 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.344-345, 1990.9.
- 66)堀口哲夫・島村 誠・阿部 允: 従来技術を重視した鋼鉄道橋の維持管理システムの構築, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.834-835, 1991.9.
- 67)崎元達郎・衛藤謙介・松井繁之: 道路橋 RC 床版の疲労寿命推定システムの開発, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.832-833, 1991.9.
- 68)益成一郎・宮本文穂・森川英典・古川正典: 知識更新機能を有するコンクリート橋診断エキスパートシステムの開発, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.830-831, 1991.9.
- 69)三上市蔵・田中成典・北岸秀一: 診断型エキスパートシステムに対するオブジェクト指向型知識表現の適用について, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.822-823, 1991.9.
- 70)杓掛敏夫・家村浩和・山田善一: 橋梁の地震時被災判定と復旧工法選択に関するエキスパートシステムの実際への適用, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.820-821, 1991.9.
- 71)井元 泉・中西保正・鈴木博之: 供用下溶接エキスパートシステム(第 1 報 変動荷重下溶接条件選定システム), 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.812-813, 1991.9.
- 72)西土隆幸・前田研一・志村 勉・野村国勝: エキスパートシステムによる橋梁形式の景観性の評価方法について, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.810-811, 1991.9.
- 73)森 猛・三木千寿・長谷川洋介・倉田丈士: 鋼道路橋寿命・余寿命予測のための対話型プログラム開発の試み, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.4-5, 1991.9.
- 74)政木英一・窪田陽一・田島二郎: 鋼道路橋設計におけるエキスパートシステムに関する研究, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.2-3, 1991.9.
- 75)原田隆郎・岩松幸雄: コンクリート橋における健全度および余寿命の評価に関する研究, 土木学会第 46 回年次学術講演会第 I 部門, 土木学会, pp.1296

－1297, 1991.9.

- 76)木下和也・宮本文穂・森川英典：知識の更新機能を有するコンクリート橋管理支援システムの実用化に関する研究，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1294－1295，1992.9.
- 77)三上市蔵・田中成典：鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムにおける矛盾知識の検出について，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1292－1293，1992.9.
- 78)三上市蔵・田中成典，米田慎二，倉地 晶：鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムにおける知識の包含関係の扱い方，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1290－1291，1992.9.
- 79)賀 建紅・渡邊英一・古田 均・馬野元秀：鉄筋コンクリート床版の維持補修のためのファジイ・ニューラルネット・エキスパートシステム，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1288－1289，1992.9.
- 80)勝俣 徹・水野 浩・杉山俊幸・長井正嗣・藤野陽三：斜張橋の概略設計用エキスパートシステムの構築，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1282－1283，1992.9.
- 81)西土隆幸・伊藤義人：異なる形式の橋梁に対する景観評価支援のためのエキスパートシステム，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1276－1277，1992.9.
- 82)三宅宏昭・松本 勝・白石成人・高梨敏彦：鋼橋の腐食劣化診断と余寿命評価に関する研究，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1164－1165，1992.9.
- 83)三上市蔵・山口良弘・林田哲郎・北岸秀一：道路橋の点検における点検員の技術評価法に関する研究，土木学会第47回年次学術講演会第I部門，土木学会，pp.1160－1161，1992.9.
- 84)三上市蔵・田中成典・前田秀典・小林篤司：鋼道路橋の疲労亀裂に対する対策を選定するRBRとCBRの3つのシステムの比較検討，土木学会第50回年次学術講演会共通セッション部門，土木学会，pp.298－299，1995.9.
- 85)中野正則・石田雅博・七澤利明・岡田光志・玉木宏忠：事例ベース推論の類似検索機能を利用した橋梁基礎形式選定エキスパートシステムの開発，土木学会第50回年次学術講演会共通セッション部門，土木学会，pp.296－297，1995.9.
- 86)西藤康浩・岩松幸雄・呉 智深・原田隆郎・玉木宏忠・阿久澤孝之：オブジェクト指向を用いた切土のり面設計支援エキスパートシステムに関する研究，土木学会第51回年次学術講演会共通セッション部門，土木学会，pp.282－283，1996.9.

- 87)小林篤司・田中成典・三上市蔵：鋼道路橋の疲労亀裂に対する補修・補強方法選定システムにおける類推機構の拡張，土木学会第 51 回年次学術講演会共通セッション部門，土木学会，pp.280－281，1996.9.
- 88)宮本文穂・豊田幸司・中田順憲・福住正典：鋼橋架設工法選定エキスパートシステムの実用性の向上と検証，土木学会第 51 回年次学術講演会共通セッション部門，土木学会，pp.276－277，1996.9.
- 89)小西日出幸・松田和茂・宮本文穂・長谷川敏之・広瀬隆宏：橋梁架設安全管理のシステム化の一手法，土木学会第 51 回年次学術講演会共通セッション部門，土木学会，pp.274－275，1996.9.
- 90)藤井友行・河村一成・梶川靖治・桑原正弘・岡本安弘：鋼橋架設工法選定エキスパートシステムの開発と実用化，土木学会第 51 回年次学術講演会共通セッション部門，土木学会，pp.272－273，1996.9.

