

診断型エキスパートシステムへのオブジェクト指向型知識表現の適用について

（独）東洋情報システム 正会員 田中 成典
関西大学工学部 正会員 三上 市蔵
関西大学大学院 学生員 北岸 秀一

1. まえがき

著者らは、鋼橋の疲労損傷について、点検箇所の特定、損傷要因の推定、補修方法の選定に関するエキスパート・システムを構築¹⁾してきた。そして、文献1)で収集した事例を分析し、知識を「2項間の相関関係」として整理²⁾した。文献3)では、この整理された知識に因果ネットワーク・モデルを適用した。この方法では、いくつかの事象が不明であっても、因果関係のネットワークを辿って、結論となる仮説にたどりつくことができる。しかし、このシステムには、学習機能が無いので、知識向上が望めない。そこで、学習機能を付加してシステムの機能を向上させる方法を文献4)において検討し、文献5)において、システム化を図った。学習方法として2項間の関係の重みを変化させる手法を用い、システムを使い込むほど、より最適なネットワークが得られるようになった。

しかし、そこで扱われている知識は、モデル化されていないため、推論結果に付加価値を付けることができない。また、因果関係から得られた推論結果以外の結果を得ることもできない。定性推論で研究されてきた、対象に関する深い知識に基づくモデルを使った推論は、この問題を解消する上で重要な技術になると考えられてきた。⁶⁾

本論文では、この観点に立って、定性推論のモデルに基づく推論を、オブジェクト指向型(object oriented)の知識表現手法を用いて、既存の診断型エキスパートシステム⁵⁾に適用する方法を検討する。

2. オブジェクト指向型知識表現の特徴と利点

コンピュータ上に展開されるデータは、プログラムに書かれた、ある決まったアルゴリズムに基づいて加工されるが、そのアルゴリズムが確立されていない場合が多々ある。また、人間の意思に基づいて加工されるべきデータも存在するが、この場合、人間の決定が気まぐれや状況の変化につれて変わるため、従来の方法ではコンピュータ上に加工のプロセスを実現することは不可能である。オブジェクト指向型知識表現は、これらの問題を少しでも解決するために考案された手法である。

オブジェクト指向型知識表現では、表現方法として、属性と属性値、属性の継承、メソッドが用いられ、対象モデルを複数のオブジェクトの集合として表現する。⁷⁾ オブジェクトはデータとメソッドで構成され、データは属性と属性値で表現される。メソッドは、オブジェクトにメッセージを与えるためのユーザプログラムである。また、オブジェクトの属性に対する属性値が上位オブジェクトから下位オブジェクトに引き継がれる。これを属性の継承という。

オブジェクトにユーザからメッセージが与えられると、そのオブジェクトのデータがメソッドによって変化する。さらにそのオブジェクトと関連付けられているオブジェクトのデータが属性の継承によって変化する。この動きが安定状態になるまで自動的に続く。つまり、オブジェクトが持つデータは、外部から変化させられるのではなく、メソッドによって自発的に変化する、という処理になる。オブジェクト間のつながりが深ければ深いほど、オブジェクト指向型知識表現は有効に働く。

オブジェクト指向型知識表現は、プロダクションシステムでは多大な労力を必要とする、分散化された知

識を扱う問題に対して有効であり,⁸⁾ 複数のサブ知識システムからなる協調型知識システムとして構築するという考え方⁹⁾にも一致する。

オブジェクト指向型知識表現手法を用いてシステム化する利点をまとめると、次のようになる。

- ①プロダクションシステムで知識ベースを構築する場合、知識がモデル化されていないために、全体像が把握しにくい。それに比べて、オブジェクト指向型知識表現の手法を用いれば、対象モデルの要素ごとに1つのオブジェクトとして、システム化を図るため、全体像が容易に把握できる。
- ②オブジェクト指向型知識表現では、要素ごとに1つのオブジェクトを作成するため、その要素に関連することだけをメソッドとしてプログラミングすればよく、煩雑にならない。また、オブジェクトの追加、変更にも柔軟に対応できる。
- ③オブジェクト指向型知識表現では、メソッドによって属性の継承が図られ、属性値の変更が自動的に行われるので、因果ネットワークの知識表現に適していない定性的要素を持った情報をも表現できる。

3. 診断型エキスパートシステムへのアプローチ

著者らは、文献5)において、鋼橋の疲労損傷に対する補修方法を選定する診断型エキスパートシステムを過去の90の損傷事例を知識として²⁾構築した。このシステムでは、補修方法を選定するための入力項目として、亀裂の外的要因(External cause of cracking)、亀裂の内的要因(Internal cause of cracking)、損傷部分に作用する力(Applied force to the joint)、作用力によって発生する亀裂様式(Cracking mode)を考えている。これらの項目と補修方法の間の因果関係を定義し、¹⁾⁻³⁾定義された関係と生成された逆・裏・対偶の関係から相互結合型ネットワークを構成した。このネットワークがFig. 1の第1層に描かれている。

推論結果としては、補修方法と4つの損傷要因の項目について様相、真偽、属性、属性値が得られる。様相は、必然性を持つ仮説(necessity hypo)、可能性を持つ仮説(possibility hypo)という値で、真偽はpositiveとnegativeの値で表現される。属性と属性値は、たとえば、属性が補修方法(method)と属性値が再溶接(rewelding)として表現される。

このシステム⁵⁾では、知識ベースとして単純な2項間の関係のみ取り扱っており、知識がオブジェクト化されていない。言い換えればモデル化されていないため、推論結果に付加価値を付けることができない。また、因果関係から得られた推論結果以外の結果を得ることはできない。

そこで、オブジェクト指向型知識表現を用いて従来のシステム⁵⁾の知識をモデル化することを考える。本研究では、次の4点に注目してアプローチ方法を考案する。

①最小化解釈(Minimum state interpretation)

従来のシステム⁵⁾の推論結果には、多くの解が含まれ、その中から有効解を見出すのは技術者に依存せざるをえない。そこで、少しでも解を絞るために、推論結果から不必要な解を削除することを考える。

②最適化解釈(Optimum state interpretation)

推論結果の解を可能な限り最適解に近づけることを考える。

③最大化解釈(Maximum state interpretation)

従来のシステム⁵⁾では、推論結果の解は個々に独立しており、他の解との関連性が考慮されていない。そこで、関連性があると考えられる解はそれと併合した状態で推論結果として得られるようにすることを考える。

④情報解釈(Information state interpretation)

推論結果の解がどのような過程を経て、また、どの要因の影響を受けて選ばれたかの情報を技術者に知らせる機能を考える。

以上の4点をシステム化するために、Fig. 1 に示す2階層構造のシステム構成を考える。第1層は、亀裂の外的要因、亀裂の内的要因、継手の作用力、亀裂様式、補修方法に関する因果ネットワークで表現された知識ベースで、従来のシステム⁵⁾を適用する。第2層では、過去の90の損傷事例を知識²⁾として、補修方法から見た損傷要因のモデル化を図る。

上記の4点についてシステム化を図る場合には、第1層で得られた補修方法が、どのような損傷要因と関連性があるかについて、第2層から補修方法が保持している損傷要因データを参照して調べる必要がある。この場合には、第1層で得られた損傷要因と第2層において補修方法が保持している損傷要因データを比べて、共通しているものだけを補修方法が保持している損傷要因データとする。

また、上記の4つの解釈①～④はどの順序で適用されてもよいが、本研究では、番号順に処理することを考える。

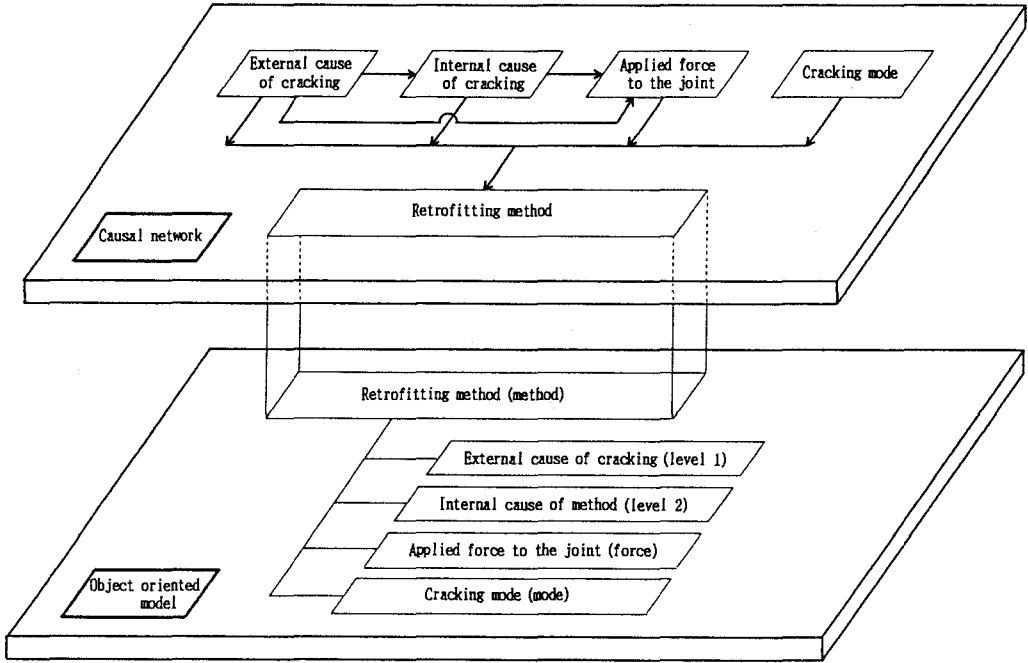


Fig.1 Hierarchy Structur of Causal Network and Object Oriented Model

3.1 最小化解釈

既存システム⁵⁾による推論の結果が、fact, necessity hypo, possibility hypoのいずれかの様相で得られる。ここで、推論結果の解（補修方法）が、第2層において保持している損傷要因に関するデータを参照する。このデータと損傷要因に関する推論結果とを比較し、マッチしない損傷要因に関する推論結果を削除する。そして、残った損傷要因に関する推論結果を用いて、第1層における推論を再実行する。ただし、その際、削除された損傷要因の情報を反映させる。

このようにして、不要な推論結果を除き、必要最小限の有益な情報を得ることが可能となると考えられる。

具体的には、次のように、既存システムによって得られた推論結果の解（補修方法）に対する様相の中に necessity hypoが含まれる場合と、そうでない場合に分ける。

3.1.1 necessity hypoが含まれる場合

推論結果の解に対する様相の中にnecessity hypoが含まれる場合の手法をFig. 2に示す。推論結果の解(図中①)のうち様相がnecessity hypoである補修方法M-2, M-3に注目する。この補修方法M-2, M-3に関して、それぞれが第2層で保持している損傷要因のデータを参照する。このデータと損傷要因に関する推論結果とを比較し、共通する損傷要因(図中②の網かけ部)のみを残し、それ以外の損傷要因を推論結果から削除する。ただし、入力データ(fact)は全て残す(図中③)。この結果を用いて、Fig. 1の第1層のシステムによって再推論を行う。再推論にあたっては、先程、削除した損傷要因は再生成しない。再推論結果においては、補修方法に関する推論結果(図中④)のみを利用するものとする。ここに推論された補修方法と、先に既存システムによって得られた補修方法に関する推論結果(図中①)とを比較し、共通する補修方法のみを最小化解釈による補修方法(図中①+④)とし、その様相は、図中①をそのまま利用する。また、不必要な推論結果を削除して得られた損傷要因に関する推論結果(図中③)を最小化解釈による損傷要因とする。

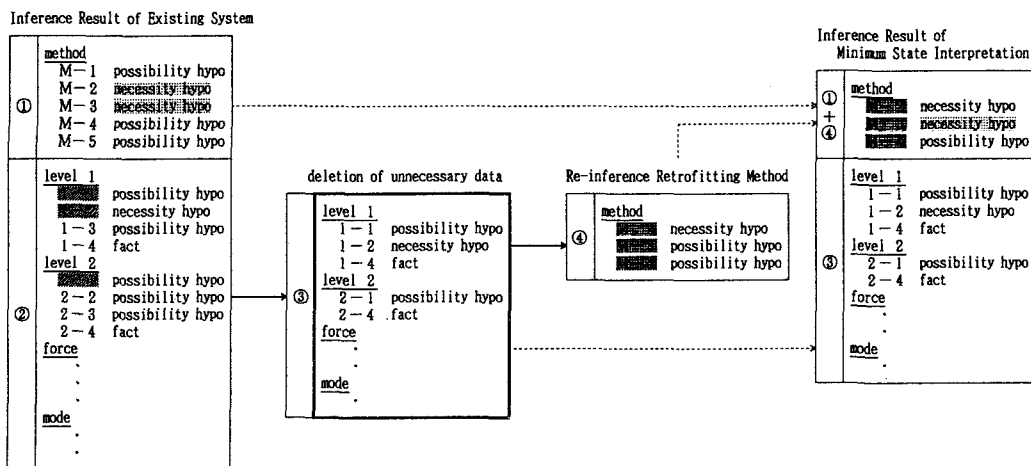


Fig. 2 Minimum State Interpretation on one or more Necessity Hypo Result about Inference Retrofitting Method of Existing System

3.1.2 necessity hypoが含まれない場合

推論結果の解に対する様相の中にnecessity hypoが含まれていない場合の手法をFig. 3に示す。3.1.1の手法とは、不必要な推論結果を削除する方法に違いがある。この手法では、既存システムによる推論結果の全ての解(図中①)、つまり、推論された全ての補修方法に注目する。これらの補修方法に関して、それぞれが第2層で保持している損傷要因のデータを参照する。このデータと損傷要因に関する推論結果とを比較し、損傷要因に関する推論結果の中で2つ以上の補修方法に影響を及ぼしている損傷要因(図中②の網かけ部)のみを残し、それ以外の損傷要因を推論結果から削除する。ただし、入力データ(fact)は全て残す。この結果を用いて、Fig. 1の第1層のシステムによって再推論を行う。

この後の操作は、3.1.1の手法と同様である。

Inference Result of Existing System

①	method	
	M-1	possibility hypo
	M-2	possibility hypo
	M-3	possibility hypo
	M-4	possibility hypo
②	level 1	
		possibility hypo
		necessity hypo
	1-3	possibility hypo
	1-4	fact
	level 2	
		possibility hypo
	2-2	possibility hypo
	2-3	possibility hypo
	2-4	fact
	force	.
	mode	.

deletion of unnecessary data

③	level 1	
	1-1	possibility hypo
	1-2	necessity hypo
	1-4	fact
	level 2	
	2-1	possibility hypo
	2-4	fact
	force	.
	mode	.

Re-inference Retrofitting Method

④	method	
		necessity hypo
		possibility hypo
		possibility hypo

Inference Result of Minimum State Interpretation

①	method	
		possibility hypo
		possibility hypo
		possibility hypo
③	level 1	
	1-1	possibility hypo
	1-2	necessity hypo
	1-4	fact
	level 2	
	2-1	possibility hypo
	2-4	fact
	force	.
	mode	.
		.

Fig.3 Minimum State Interpretation on not at all Necessity Hypo Result about Inference Retrofitting Method of Existing System

3.2 最適化解釈

最小化解釈を経て得られた補修方法に対する様相にメリハリをつけることによって、可能な限り最適解に近づけることを考える。このような処理を行うことによって、技術者が的を絞やすくなる。

最小化解釈を経て得られた補修方法が、どれくらいの損傷要因の影響を受けて選定されているかによって、その様相を修正することを考える。すなわち、多数の損傷要因の影響を受けて選定されている補修方法の場合には、元の様相を1ランク上げ、補修方法の優劣を明確にすることを考える。

具体的には、Fig. 4に示すように解の様相がpossibility hypoである補修方法M-2に注目（図中①）して、M-2がFig. 1の第2層に保持している損傷要因データを参照する。このデータと損傷要因に関する推論結果（図中②）とを比較し、共通する損傷要因（図中②の網かけ部）が2つ以上あれば、つまり、補修方法M-2が、2つ

Inference Result

①	method	
	M-1	necessity hypo
②	level 1	
		fact
	1-2	possibility hypo
		necessity hypo
	level 2	
	2-1	possibility hypo
		fact
	force	
		possibility hypo
	F-2	fact
	mode	
		possibility hypo
	C-2	fact

Optimum State Interpretation

Inference Result of Optimum State Interpretation

method	
	M-1 necessity hypo
level 1	
	1-1 fact
	1-2 possibility hypo
	1-3 necessity hypo
	level 2
	2-1 possibility hypo
	2-2 fact
	force
	F-1 possibility hypo
	F-2 fact
mode	
	C-1 possibility hypo
	C-2 fact

Object oriented model

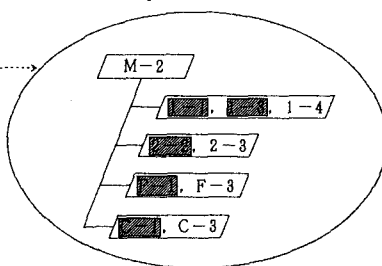


Fig.4 Optimum State Interpretation

以上の損傷要因の影響を受けて選定されていれば、様相を1ランク上げて、high possibility hypo とする。
ただし、最小化解釈を経て得られた補修方法に対する様相がnecessity hypoの場合はそのままにする。

3.3 最大化解釈

最適化解釈の後、できるならば複数の補修方法を併用するという、知識ベースに定義されていない新たな補修方法が得られるようにする。

具体的には、Fig. 5において、推論結果の補修方法M-1、M-2が、それぞれ第2層で保持している損傷要因に関するデータ同士を比較し、損傷要因の各項目において共通するデータが1つ以上ある場合、補修方法M-1、M-2を併用した補修方法（M-1 & M-2）があり得るとして生成する。このようにして、複数の補修方法を併用して得られた補修方法は、Table 1 に示す様相を持つものとする。

また、生成された結果のオブジェクトモデルを生成する。これは、併用されたM-1とM-2が保持しているデータをマージすることで作成される。

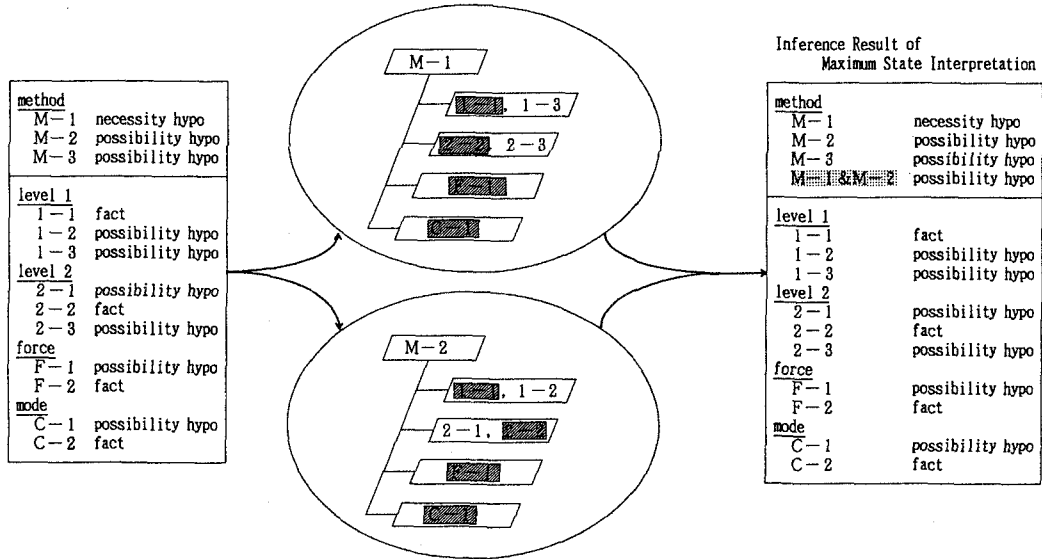


Fig.5 Maximum State Interpretation

3.4 情報解釈

Fig. 1 の第2層では、補修方法に関してモデル化が図られているので、補修方法が保持している損傷要因データの情報（補修方法と関連する損傷要因）を取り出すことが容易である。つまり、最終的に得られた補修方法が、どのような過程を経て、どの損傷要因の影響を受けて選ばれたかを容易に知らせることができる。このような情報

Table 1 Status of Retrofitting Method by both M-1 and M-2

M-1	M-2	M-1 & M-2
necessity hypo	necessity hypo	necessity hypo
necessity hypo	possibility hypo	possibility hypo
possibility hypo	necessity hypo	possibility hypo
possibility hypo	possibility hypo	possibility hypo

は、技術者にとって有益であると考えられる。

具体的には、Fig. 6 を例にとると、最小化解釈、最適化解釈、最大化解釈を経て、得られた最終的な推論結果の解の中の、補修方向M-1に注目して、情報解釈を行う。Fig. 1の第2層でM-1が、保持している損傷要因データを参照する。このデータと損傷要因に関する推論結果（図中②）とを比較し、共通している損傷要因を補修方法M-1に関する情報として、ユーザに流す。つまり、これらの情報は、補修方法M-1が選定される際に影響を及ぼした損傷要因をユーザに知らせている。

4. あとがき

従来のシステム⁵⁾において、扱われている知識は、モデル化されていないために、推論結果に付加価値を付けることができない。また、因果関係から得られた推論結果以外の結果を得ることもできない。

本研究では、定性推論で研究されてきた、対象に関する深い知識に基づくモデルを使った推論を、オブジェクト指向型の知識表現手法を用いて、既存の診断型エキスパートシステム⁵⁾に適用する方法を検討した。

- ①従来のシステム⁵⁾から得られる推論結果では、多くの解が得られ、有効解を見いだすことが困難であった。そこで、少しでも解を絞るために、推論結果から不必要な解を削除することを考えた。
- ②補修方法に対する様相にメリハリをつけることによって、可能な限り最適解に近づけ、技術者に的を絞りやすくすることを考えた。
- ③従来のシステム⁵⁾から得られる補修方法では、個々の補修方法が独立しており、他の補修方法との関連性を考慮していない。そこで、関連性のある複数の補修方法をできるならば併用し、新たな補修方法を生成することを考えた。
- ④本システムで得られた補修方法が、どのような過程を経て、どの損傷要因の影響を受けて選ばれたかの情報をユーザに流すことを考えた。

今後、既存の診断型エキスパートシステム⁵⁾にオブジェクト指向型知識表現を適用し、モデル化された知識を持たすことによって、より洗練された推論結果を得られるシステムの構築を図りたい。

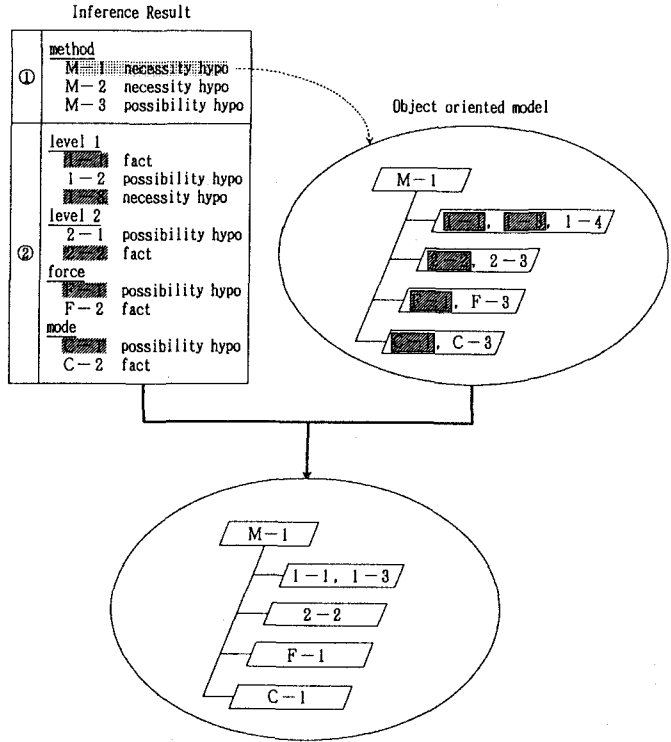


Fig.6 Information Interpretation

参 考 文 献

- 1) 三上市藏・三木千壽・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.
- 2) 三上市藏・三木千壽・田中成典・本田博幸・土田貴敬：エキスパート・システム構築のための鋼橋疲労損傷事例の分析と整理，第14回土木情報システムシンポジウム講演集，土木学会，pp.181-188，1989.10.
- 3) 三上市藏・三木千壽・田中成典・土田貴敬：鋼橋疲労損傷の補修方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.
- 4) 三上市藏・田中成典・倉地 晶：診断型エキスパートシステムへのニューラルネットワークの適用について，第15回土木情報システムシンポジウム講演集，土木学会，pp.239-246，1990.10.
- 5) 三上市藏・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.
- 6) 岩崎由美：定性推論の応用に関する展望，情報処理，Vol.32，No.2，pp.163-170，1991.2.
- 7) 春木良宣：オブジェクト指向への招待－思考表現のための新しい技法－，啓学出版，1989.
- 8) 丸一威雄・所真理雄：分散型知識処理に適したオブジェクト指向ルールベースプログラミング，コンピュータソフトウェア，Vol.5，No.4，pp.27-39，1988.
- 9) 石川裕・所真理雄：並列オブジェクト指向知識表現言語Orient84/K，コンピュータソフトウェア，Vol.3，No.4，pp.27-39，1988.