保修技術継承のための学習支援システム

CAI System for Inheritance of Maintenance Expertise

尾暮 拓也
Takuya Ogure

東京大学大学院 工学系研究科 システム量子工学専攻
QUEST, The Univ. of Tokyo.
ogure@sk.q.t.u-tokyo.ac.jp

花房 英光
Hidemitsu Hanafusa

株式会社原子力安全システム研究所
Institute of Nuclear Safety System.
hanafusa@inss.co.jp

古田 一雄
Kazuo Furuta

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻
Graduate School of Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo
furuta@k.u-tokyo.ac.jp

keywords: CAI, inheritance, maintenance expertise, ontology.

Summary

Generally, maintenance tasks need various knowledge, which includes empirical knowledge of experienced experts. This led our interest to inheritance of maintenance expertise.

We thought any powerful methodology for the purpose must be discussed, and it will never be achieved without dealing with background knowledge of maintenance. From this viewpoint, we analyzed educational documents about maintenance in order to derive representation of such background knowledge. This discussion lead to “maintenance ontology”, and a particular representation constructed with three knowledges; knowledge about design process, knowledge about trouble occurrence, and free style document. The free style document is prepared as additional description of the other two knowledges, and besides description of empirical knowledge. The empirical knowledge would be described in context of design and trouble occurrence.

We have developed a prototype CAI system and asked maintenance experts to evaluate it. The result of the evaluation was totally satisfactory, and so we concluded the proposed methodology significant.

1. は じ め に

プラントや航空機などの大規模機械の保修には一般に対象に関する膨大な知識が要求されるので、保修技術者には相応の教育が必要となる。またベテランの保修技術者の引退に伴い、知識が散逸するのを防ぐことも重要な課題である。

ここで技術者の教育、訓練方法に関して比較的整備されている原子力分野を例にとると、保修技術者は入社時の導入教育で運転など実習を受けた後、保修業務に従事しながら、レベルに合わせ、専門の訓練施設である保修訓練センターでテキストを用いた講義と実機を模擬した訓練用モデルを用いた実習が行われている。また技術力を確保するため、プラントの定期検査時に直営作業で行うことによって技術を習得している。

一方、知的 CAI システム一般の研究に関しては溝口がまとめている [溝口 95] が、特に原子力分野における教育支援に関しては小型シミュレータ、フルスコープシミュレータや CAI 指向シミュレータなどの運転訓練シミュレータが古くから用いられ、これらの効果を久保田らがまとめている [久保田 96]。このほかコンピュータゲーム

の要素を取り込んだ CAI の研究 [久保田 93] や、緊急時運転手順の教育に関する研究 [横山 93] などの研究がある。

一方保修技術者のための訓練支援システムに関しては、仮想現実空間上に保修対象機器を構築し、これを実行して保修手順を実習することができる VR システムが研究されている [Ishii 96]。

保修技術者の保修に関する知識を、講義など教育によって得られる「教科知識」と機器の操作などの訓練を通じて得られる「保修タスク実施知識」とに区別して対比した時、前者が後者の背景知識となっていることは明白であるにもかかわらず、この部分の教育支援研究は手薄であるように見える。そこで本研究では、この教科知識に焦点をあてた教育支援システムについて検討する。

また一方で、ベテランの技術を構成する知識は、このような教科知識を基礎として、これと有機的に関連しているはずである。教育支援システムにベテランの経験的知識を動的に挿入する方法を付加することができれば、その教育支援システムは知識共有も支援できると期待される。そこで本研究ではこのような技術継承問題も視野に入れた上で、

(1) 保修オントロジーの検討。

- (2) オントロジーに立脚した知識表現の提案と、これの試作システムへの実装。
 - (3) 知識表現の評価。
- の 3 つを目的とする。

2. 保修オントロジーの検討

2.1 オントロジー

「オントロジー」という語にはさまざまな定義がある [溝口 97] が、本研究では「知識表現を決定するための暗黙の仮定を明示化するための議論」と定義し、本論文では特に「保修タスク実施知識」そのものではなく、その背景知識となっている「教科知識」に焦点を絞った保修オントロジーの検討を行って、知識表現の提案をする。

2.2 教科知識の分析

関西電力原子力力保修訓練センターで教育に利用される印刷物には、実習時に用いられる作業手順マニュアルと座学の講義に用いられるテキスト教材があり、ここでテキスト教材は教科知識のよい例である。このテキスト教材を分析した結果、内容を次の 3 つに大別できることが分かった。

- (1) 機器の「造り」に関する説明
- (2) トラブル発生メカニズムに関する説明
- (3) ショートノートやデータ表など

3 番目の「ショートノート」や「データ表」などは添付ドキュメントとしての性格が強いものである。また「ショートノート」にはベテランの「ノウハウ」に相当すると考えられる記述も目立った。

以降、この 3 つの知識の表現方法を「機器の造りに関する知識」、「トラブル発生メカニズムに関する知識」、「添付ドキュメント」として検討する。

2.3 機器の造りに関する知識

§1 2 つのアプローチ

保修技術者が機器の造りを考えるとき、部品の空間的な配置のみを知っていればよいというものではなく、機器を構成する部品の機能的な接続あるいは物理的な因果関係についての理解がなくてはならない。このような「機器の造りに関する知識」のオントロジーは大きく分けて「機器の機能と構造の関係を論じる」アプローチと「設計者の意図と構造の関係を論じる」アプローチの 2 つがある。

「機能と構造の関係を論じる」アプローチには、例えば、エネルギーなどの保存量が機器の構成要素の間で流れて機能を実現し、これによって目標が達成される様子を表現する MFM (Multilevel Flow Modeling) [Lind 92] や、具体的な「構造」と抽象的な「機能」との間の抽象度の軸と、部分-全体の包含関係の軸からなる平面上

で機器の動作を説明する Abduction Hierarchy モデル [Bisantz 94] などがある。

「設計者の意図と構造の関係を論じる」アプローチは知的 CAD の分野で盛んに議論されており、設計意図と物理的制約から構造が指定される制約伝播のモデル [田浦 97] などがある。

前者のアプローチは機器動作時の振る舞いの理解に有効であり、機器の運転員向けのオントロジーであるといえる。一方で保修作業時は一般に機器は停止しており、むしろ保修作業員に必要な知識は、組み立て時の注意点や設計上の機器動作の環境的条件など、より設計者のそれに近いものであるといえる。このような見地から、保修のために「機器の造りに関する知識」を表現するオントロジーとして、「設計者の意図と構造の関係を論じる」アプローチを採用するのが妥当であると考えられる。

§2 設計プロセス知識

古田らは設計に対する要求を満足する設計解を任意に仮定し、試行錯誤を繰り返すことによって無矛盾な設計解集合を発見する設計過程の表現モデルを提案した [Furuta 92]。このモデルは外部から与えられる設計要求と、設計者が任意に与えたパラメータなどの「仮定」、及びそれらから物理的な制約により導出される設計仕様の集合として表現される。

このモデルを「機器の造りに関する知識」に応用した場合、設計者のセンスに頼るような根拠の記述の困難な設計内容を仮定されたものとして明示的に扱えるため、簡明に表現できる。

なお、古田らのモデルでは設計の試行錯誤の過程で相互に矛盾する「仮定」を扱う必要があるが、ここでは設計の完了した対象機器を表現するので他の制約に矛盾しない「仮定」のみを含む設計解集合を扱う。

本研究では特に「機器の造り」の説明のためにこのモデルを見直し、次の 4 つの種類の項目が根拠を参照するためのリンクで接続された「設計プロセスモデル」を提案する。

設計要求: 機器の設計意図や環境からの制約など、設計解が満足すべき条件。

設計仕様: 設計作業の結果導出される設計解。

専門的設計判断: 上述の仮定された設計内容であり、根拠に設計者の判断を暗に含む点を除いて「設計仕様」に等しい。

工学知識: 普遍的な科学知識や技術的知識など。

これらの設計項目はネットワークグラフを構成し、上位の「設計要求」はより粒度の小さい「設計要求」に分解され、「工学知識」とともに「設計仕様」の根拠となる。「専門的設計判断」は設計仕様の一種であるにもかかわらず、根拠が十分である必要がない。

例として原子炉一次系冷却材ポンプ (RCP) の回転数を決定する設計プロセスを図 1 に示す。

図 1 設計プロセス表現の例

図 2 構造階層によるインデックス

§ 3 構造階層

田浦らはこのような設計項目を、設計の結果である「プロダクト知識」と呼ばれる構造階層に関連付けて整理する手法を提案した [田浦 97]。ここで構造階層とは、対象機器をトップノードとして、これを構成する内部機器を全体・部分の関係で階層化していった単純な木構造グラフである。

設計項目が大量に存在する場合、それらは複雑なネットワークグラフを構成し、人間の理解を妨げる可能性があるが、構造階層を各設計項目のインデックスとして利用することにより直感的に全体を把握することができるようになると思われる。

また各設計項目を構成機器ごとにまとめることによって、時間軸に沿った設計のプロセスという観点ではなく、特定の機器の設計項目を列挙した機器の解説という観点で知識を提示することができる。

本研究ではこのように構造階層を利用する手法を導入し、「機器の造りに関する知識」を構造階層のノードにリンクさせ、構造階層をインデックスに用いる (図 2)。

2・4 トラブル発生のメカニズムに関する知識

§ 1 故障オントロジー

故障の生起には明示的、暗示的に必ず原因と結果の因果関係が存在しており、これを端的に利用したものがフォールトツリーによる故障解析である。しかし来村の故障オントロジーの議論 [来村 99] によれば、一口に故障の原因といっても、機能的な構造から機器の機能喪失の原因になる要素を推定した「認知的故障原因」と、時間的に物理現象を遡って原因となる物理現象、あるいは機器の物理特性を推定した「物理的故障原因」とがある。

ここで保修技術に目を移すと、保修時は運転時ではないので機能喪失の原因機器を特定することが主眼ではなく、設計を逸脱した機器の状態および環境を回復し、またこれを予防することが目的である。つまり保修でいう故障の原因とは「物理的故障原因」であると考えるのが適当である。

§ 2 異常事象と外的異常要因

一般に保修を行うべき事象は、故障のみならず設計を逸脱した機器の状態や環境を含み、これらを一般的に「異常事象」と表現することができる。ここで異常が故障として顕在化しているかどうかは保修の上では重要ではない。

ところで、トラブルの発生のメカニズムを説明する場合、設計時に決まる機器に固有の要素と機器に無関係な外的な要素との関係を議論する二元論が可能である。

このような二元論の利点は、機器の異常遷移のシーケンスと、再現性が低い、または原因究明が困難なヒューマンエラーや環境的要因などを区別して議論できる点である。予想されていなかった原因で発生した異常事象であるにも関わらず、それまでに経験されたトラブルと類似の結果をもたらした場合、違いは外的な要因のみであって機器内部では同じ事象が展開している場合が多い。

この二元論に基づくオントロジーを用いて保修技術者を教育すれば、多様な外的要因にとらわれず、機器内部

図 3 異常状態遷移の表現の例

の事象に着目してトラブル発生メカニズムを理解し、効率的にエラー回避、トラブル予見の能力を身に付けられる可能性がある。

§ 3 異常状態遷移の知識

高橋らはプラントの故障診断に用いるエキスパートシステムのための知識表現として、多段階状態遷移過程による知識表現モデルを提案した [高橋 92]。多段階状態遷移過程とは前異常状態から故障状態が発現し、特定機能の喪失に至るという形で状態が段階的に遷移する過程であり、その中でそれぞれの段階で重要な役割を果たす「機器の属性」を議論する。ここで「機器の属性」とは機器の構造や仕様などの総称である。

ここで重要なことは、表現の中で設計時に決定される「属性」が利用されており、また故障を原因から事象発現に至るプロセスとしてとらえている点で、これは要求から仕様が導かれる設計プロセス知識の表現に類似した表現方法で表現することが出来ると考えられる。本研究では、高橋の故障診断のためのモデルについて、各状態レベルを「必修を行うべき事象」として、先に議論したように「異常事象」にまとめ、外的な要因の項目を導入して、設計仕様とこれらが因果関係で接続された異常状態遷移メカニズムのモデルを提案する。具体的な項目は次の 4 つの種類である。

異常事象: 対象機器内部の設計から逸脱した状態、またはそれに類するもの。

外的異常要因: 異常事象の原因となる対象機器外部の要因。

設計仕様: 異常事象の原因となる対象機器の仕様。

工学的知識: 異常生起のメカニズムを説明する普遍的な科学・技術知識

「外的異常要因」と「設計仕様」の組み合わせの結果「異常事象」が発生し、この「異常事象」がさらに別の「異常事象」の原因となって、「異常事象」が遷移していく

様子を表現する。新たな「異常事象」は一般に 1 つ以上の「異常事象」と「外的異常要因」や関係する「設計仕様」によって引き起こされ、全体として因果ネットワークを構成する。この表現方法を用いた原子炉一次系冷却材ポンプのシールリングのトラブルの表現例を図 3 に示す。

これらの要素のうち「設計仕様」と「工学的知識」は「機器の造りに関する知識」の項目である。一般に異常状態遷移のネットワークは設計プロセスのネットワークの設計仕様と有機的に関連しており、2 つのネットワークはいたる所で交差させて表現される (図 4)。

図 4 2 つのネットワークの交差

また設計プロセス同様、異常状態遷移に関する知識も構造階層に従って整理することで、時系列の異常状態遷移のみならず、構成機器単位で発生する可能性のある「異常事象」や影響する可能性のある「外的異常要因」を提示できるようにする。

2.5 添付ドキュメント

一般に講義テキストの中のショートノートやデータ表などの「添付ドキュメント」は相互の関連が比較的弱く、主に先の 2 つの知識 (「機器の造りに関する知識」と「ト

ラブル発生メカニズムに関する知識」)に従属する。

また表現形式は自然言語文章や数値、図などで構成され、内容も多様であるため直接高次のオントロジーを議論することは困難である。従って以下ではデータの内容ではなくデータを扱うための知識表現に関する低次のオントロジーを検討する。

§1 知識表現

相互の関連が比較的弱い「添付ドキュメント」を体系付けることを考えると、まずタイトルや内容でインデックスを作成する方法が考えられるが、元のテキスト上のコンテキストに関する情報が失われてしまい、利点が少ない。

「機器の造りに関する知識」と「トラブル発生メカニズムに関する知識」への従属性を反映するためには、これらの知識項目からリンクを張って参照することが妥当であるように見える。またテキストの趣旨から「添付ファイル」は対象機器についての情報であることが前提であるので、少なくとも構造階層上のいずれかの構成機器へのリンクは一意に存在するはずである。

従って、「添付ドキュメント」はすべて構造階層上のいずれかの構成機器に関連付け、また必要に応じて「機器の造りに関する知識」と「トラブル発生メカニズムに関する知識」の知識項目へ関連付け、これらのネットワークグラフにぶら下げるべきである。

§2 データ形式

オントロジーの議論から外れるが、教育支援システム実装に向けて「添付ドキュメント」のデータ形式についても検討しておく。マルチモーダルなドキュメントをワープロソフトや表計算ソフトなど適切なファイル形式で格納するののも一つの方法であるが、この場合、汎用性が著しく損なわれることになる。本研究では汎用的にマルチメディア情報を扱うために HTML (Hyper Text Markup Language) を利用して「添付ドキュメント」を用意し、知識項目とする。

2・6 保修オントロジーのまとめ

保修の教科知識をたたき台に保修オントロジーを議論した。また具体的な成果として「機器の造りに関する知識」と「トラブル発生メカニズムに関する知識」及び「添付ドキュメント」をネットワークグラフとし、各要素のインデックスとして構造階層を利用した知識表現を導出した。提案した保修オントロジーは以下の内容を表現する能力を持つ。

- (1) 具体的な機器の仕様。
- (2) 仕様が定められた設計上の根拠。
- (3) 具体的な機器の異常状態。
- (4) 機器の異常状態の原因となる外部の要因。
- (5) これらの因果関係。
- (6) 構成機器の全体-部分の関係。
- (7) (1)~(4)と各構成機器との対応関係。

提案したオントロジーは対象に具体的な機器構造を想定しており、簡明さを優先して構成機器の抽象的なカテゴリ分類などは許していない。また「保修タスク実施知識」の背景知識である「教科知識」を表現することを主眼としており、「保修タスク実施知識」の表現は考慮していない。これらの制限から、以下のような内容はこのオントロジーで扱うには不便であるか、あるいは直接的に扱うことはできない。

- (1) 部品に使われる金属の一般的性質など、複数の構成機器に共通する内容。
- (2) 作業手順などのタスク知識に関する内容。
- (3) その他、作業員の健康管理や組織のマネージメントなど、この枠組みで考慮されていないもの。

ただし複数の構成機器に共通する内容は、構造階層におけるそれらの上界的な構成機器にリンクすることで便宜的に扱うことができる場合がある。また直接扱えない内容のためには、例外的な情報を「添付ドキュメント」としてカプセル化して利用できる低次のオントロジーを組み込まれており、応用に備えている。

3. 経験的知識の共有

3・1 ベテランの知識

熟練した保修技術者は、その経験から、保修要領書などに明記されていない様々な知識(ノウハウ)を培っている。熟練した保修技術者とそうでない人との差はこの「ノウハウ」の有無にかかっているといえる。

これらの「ノウハウ」は一般に膨大で、一つ一つは些細で、体系だっておらず、根拠の説明も困難である。このような情報は単一の文章としては記述しづらく、また検索のための画一的な手段もないことから再利用がされにくい。ここで保修技術者の世代交代に伴う技術の伝承のために「ノウハウ」を記述、参照する手法を提案することは意義のあることと考える。

3・2 知識表現

これまでベテラン保修員の持つノウハウの背景知識を明示化するために保修オントロジーを定式化した。具体的に構築されるドメインオントロジーは保修についての「基本概念の体系」として機能するので、ノウハウの記述及び検索に効果的に利用できると考えられる。

すなわち、ノウハウを記述する際に関連する保修オントロジー項目を明示しておくことで、ノウハウをゼロから記述するよりも説明を大幅に省略でき、またこの「基本概念の体系」から関連するノウハウ記述の検索が可能になることが期待できる。教育支援システムでの応用例としては、これまでテキスト資料の余白にノウハウのメモを書き込んでいた作業を、計算機上で実施することができる。

具体的な知識表現としては、自然言語による記述を保

修オントロジーと関連付けることが自然であると考えられる．これは既に「添付ドキュメント」として定式化した表現方法をそのまま利用できるもので、先に提案した知識表現に特別な拡張は必要ない．

そこで教育支援システムにドキュメント入力機能を装備し、これまで述べたような知識表現を利用するという方法で、ここに経験的知識を共有する方法論を提案する．なおこの教育支援システムを知識共有システムとして見た場合、教科知識は「ノウハウ」を参照するためのインデックスの役割を果たす．

4. 試作システム

これまで検討した知識表現を用いてデータベースとインタフェースプログラムを作成した．

4.1 データベース

リレーショナルデータベース上に「構造階層」と「教科知識」を構築した．ここで「構造階層」のレコードは各構成機器の名称や外観図などを保持する．「教科知識」の「型」はここまでの保修オントロジーの議論を反映して設定した（表 1）．

表 1 教科知識データの「型」がとる値

型の値	定義
設計要求	対象機器の仕様が満たすべき条件.
設計仕様	対象機器の仕様を記述したもの.
専門的設計判断	設計者の判断が含まれる設計仕様.
工学知識	普遍的な科学・技術知識.
外的異常要因	対象機器外部の異常要因.
異常事象	対象機器の内部状態の異常.
トラブルモード	異常遷移の OR 接続を表す項目.
添付ドキュメント	関連情報の所在を URL で示す.

4.2 インタフェース

プロトタイプソフトウェアは Microsoft Windows 上で実装した．

ここでプログラムのインタフェースには学習者への様々な配慮が必要である．例えばプログラムは特別な訓練を行わずに利用できるように操作体系が実装されていることが望ましい．また知識の提示の仕方についてもより直感的で分かりやすい方法を検討するべきである．

操作体系については実装 OS の標準シェルであり Web ブラウザとしても有名な「Internet Explorer」のメタファを踏襲し、直感的なアイコン表示・マウス操作を基本として操作法を類推しやすいように配慮した．

この操作画面を図 5 に示す．左上部のパネルは構造階層をクリックابلマップで提示する．具体的には対象と

図 5 Maintenance Explorer ver.3.0

する構成機器の外観図を表示し、機器の構造に対する直感的理解を助けるとともに、クリック操作による構成機器の選択が可能になっている．左下部のパネルには選択された構成機器に関する「機器の造りに関する知識」、「トラブル発生メカニズムに関する知識」及び「添付ドキュメント」が一覧表示され、ここで選択された知識について、右パネルにネットワークグラフのリンク関係と詳細が表示される．

「添付ドキュメント」は Web ブラウザを利用して内容を表示する．また任意の知識項目に関連付けて「添付ドキュメント」を新規作成することができ、あらかじめ指定された HTML エディタを自動起動して編集することができる．

5. 評価

5.1 評価方法

学習支援の内容が、保修タスクそのものではなく保修に関する背景知識であることから、効果を客観的に観察することは現実的には困難であると考えられる．そこで評価は対象機器の保修業務に関する十分な知識を持ったエキスパートによる学習支援システムの主観評価を主体とする．具体的には以下の手順で行う．

(1) 用意した標準問題を開発した学習支援システムを用いて被験者に解いてもらう．

(2) 学習支援システムに関するアンケートを実施する．ここで標準問題は

- 指定された設計仕様について、学習支援システムを参照して得られる知識で説明する．

- 指定されたトラブル事例について、学習支援システムを参照して得られる知識で説明する。
- 指定された文献を「添付ドキュメント」として入力する。

の3つである。アンケートは以下の項目についての5段階評価の設問と、それら評価の理由など自由記述の設問からなる。5段階評価については、システムのインタフェースなど実装の仕方によって左右される評価と知識表現に関する評価を分離するように設問の章立てを配慮した。

- システムのインタフェースに関する設問
 - 操作の方法は直感的に分かりやすいか。
 - 操作の実施は容易か。
 - ウィンドウの構成は見やすいか。
 - アイコン表示は分かりやすいか。
- システムの機能・性能に関する設問
 - 動作にストレスはないか。
 - 「添付ドキュメント」の閲覧は容易か。
 - 「添付ドキュメント」の作成は容易か。
 - テキストと比べて知識の探索は容易か。
- データ構成・表現方法に関する設問
 - データ数は十分か。
 - 知識の説明は分かりやすいか。
 - 知識型の分類は適当か。
 - テキストと比べて機器の構造は分かりやすいか。
 - テキストと比べて設計仕様は分かりやすいか。
 - テキストと比べてトラブル発生メカニズムは分かりやすいか。
- 総合的な設問
 - テキストと比べて教示内容は理解し、覚えやすいか。

「添付ドキュメント」の閲覧に用いる Web ブラウザには Microsoft Internet Explorer ver. 5.0 を用い、HTML エディタとしてはこれに同梱されている FrontPage Express ver. 2.0 を用いた。

評価に協力した被験者は原子力発電所の必修業務経験者 10 名であり、必修業務の経験年数は 2 年から 19 年である。

5.2 例題として用意した知識

必修対象機器には原子炉一次系冷却材ポンプを選び、「ポンプ主軸シール部」の典型的なトラブル 2 例と、ポンプ全体の設計情報（特に「ポンプ主軸シール部」付近について充実させたもの）とを「教科知識」として 139 項目、構造階層 17 項目を専門家の協力で用意した。内訳を表 2 に示す。

5.3 評価結果

5 段階評価による 10 人の評価結果の平均値を図 6、図 7 に示す。

与えた標準例題の「トラブル事例の説明」では、全般に「ポンプ主軸シール部」のパラメータである「テーパ

図 6 開発したプログラムに関する評価

図 7 教科知識に関する評価および総合評価

量」を用いた説明がなされた。

また「データ構成・表現方法に関する設問」の記述式の回答には、「図が足りない」、「詳細説明が不足である」、「寸法などが分からない」といったデータ不備の指摘のほか、「表現がくどい」、「表現方法になじみがない」といった意見が寄せられた。そのほか、「資料作成の容易さ」で作成しにくいと回答した被験者の理由記述には「評価に用いた HTML エディタの使い方が分かりづらい」と述べられていた。

6. 考察と今後の課題

5 段階評価の平均はおおむね 3 以上の肯定的な評価であり、特に「操作の実施の容易さ」および「設計仕様の

表 2 例題の項目数

項目	項数	項目	項数
設計要求	36	添付ドキュメント	5
設計仕様	35	外的異常要因	1
専門的設計判断	15	異常事象	9
工学知識	36	トラブルモード	2

分かり易さ」で評価が高かった．一方で「資料作成の容易さ」および「データ数が十分」で評価が低かった．

「資料作成の容易さ」で評価が低いことに関しては、評価に用いた HTML エディタの問題であり、本研究で作成した教育支援システムの本質的な問題ではないと考えられる．また「データ数が十分」でないとされる点に関しては、研究のために入手できる機器開発に関する資料の量的な制限によるものである．

知識表現について:

標準例題の「トラブル事例の説明」では設計仕様であるパラメータが参照されており、トラブル事例の理解に設計情報が寄与することが示された．

「インタフェース」及び「機能」に関する設問は、試作システムの実装に依存する評価である．また「データ構成」に関する「データ数が十分か」及び「知識の説明が分かりやすいか」の設問は用意した例題データに依存する評価であり、共に知識表現の評価のための条件の良さ、または悪さの指標であると考えることができる．図 7 で「データ数が十分」でないとされている点で、知識表現の評価のための条件がやや悪い．一方、知識表現に関してテキストと比較した 4 つの設問を含む「データ構成・表現方法に関する設問」及び「総合的な設問」で評価が高いことは、知識表現の有効性すなわち提案した必修オントロジーの有効性を示しているといえる．

試作システムについて:

「インタフェース」に関する評価が高いのは「Internet Explorer」の周知の操作性を真似たことが原因である可能性が高く、教育支援システムのインタフェース設計のアイデアとして興味深い．

自由記述に関しては知識のグラフ表現に対する被験者の戸惑いを見て取ることができるが、残念ながらデータの拡充以外に知識表現に関しての具体的な改善の提案は得られなかった．

今後の課題として、本研究では背景知識ではないとして無視した「必修タスク実施に関する知識」を含むような一般的必修オントロジーへの拡張も重要であると思われる．

7. ま と め

必修に関する背景知識のオントロジーを、原子力分野で教育に利用される印刷物を参考にして議論した．また必修に関する教育支援システムにベテランのノウハウを動的に取り込んで共有する方法についても提案した．これらの成果として教育支援システムのための知識表現を提案した．

この知識表現を利用した教育支援システムを開発し、提案した知識表現の有効性を評価した．

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bisantz 94] Bisantz, A. M. and Vicente, K. J.: Making the abstraction hierarchy concrete, *Int. J. Human - Computer Studies*, Vol. 40, pp. 83-117 (1994).
- [Furuta 92] Furuta, K. and Kondo, S.: Framework for AI-Based Nuclear Reactor Design Support System, *Journal of Nuclear Science and Technology*, Vol. 29, No. 5, pp. 415-421 (1992).
- [Ishii 96] Ishii, H., Kashiwa, K., Tezuka, T., and Yoshikawa, H.: Development of Machine-Maintenance Training System using Petri Net and Virtual Environment, *CSPEC 96*, pp. 138-143 (1996).
- [来村 99] 来村, 溝口:故障オントロジー, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 5, pp. 828-837 (1999).
- [久保田 93] 久保田, 佐藤, 氏田, 横田:魅力ある CAI システムの開発, 人工知能学会研究会資料, SIG-IES-9303-13, pp. 73-78 (1993).
- [久保田 96] 久保田, 佐藤, 横田, 川上:原子力発電所の教育・訓練システム, 人工知能学会研究会資料, SIG-IES-9602-02, pp. 7-12 (1996).
- [Lind 92] Lind, M., Larsen, M. N., and Osman, A.: Applications of Multilevel flow Modeling, in *Proc. of AMP '92 Vol. IV* Atomic Energy Society of Japan (1992), Session 42.
- [溝口 95] 溝口理一郎:知的教育システム, 情報処理, Vol. 36, No. 2, pp. 177-186 (1995).
- [溝口 97] 溝口, 池田:オントロジー工学序説, 人工知能学会誌, Vol. 12, No. 4, pp. 559-569 (1997).
- [高橋 92] 高橋, 北村, 梶山:原子炉診断への応用を目的とした故障生起汎化知識の表現, 日本原子力学会, Vol. 34, No. 7, pp. 678-692 (1992).
- [田浦 97] 田浦俊春:設計の説明と理解のためのヒストリーベース, 新工学知 1 - 技術知の位相, 東京大学出版会 (1997).
- [横山 93] 横山, 氏田, 加藤, 谷川:緊急時運転手順の知的 CAI システム, 人工知能学会研究会資料, SIG-IES-9302-13, pp. 32-36 (1993).

〔担当委員:新田克己〕

2000 年 5 月 15 日 受理

著 者 紹 介

尾暮 拓也(学生会員)

1997 年東北大学工学部原子核工学科卒業, 1999 年東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻修士課程修了。現在同博士課程。日本原子力学会会員。

花房 英光

1981 年慶應義塾大学工学部機械工学科卒業。1983 年同大学院工学研究科修了。同年関西電力(株)入社, 保修業務に従事。1997 年(株)原子力安全システム研究所技術システム研究所出向。現在原子力発電所の保守支援に関する研究に従事。

古田 一雄(正会員)

1981 年東京大学工学部原子力工学科卒業, 1986 年東京大学大学院工学系研究科博士課程終了(工学博士), 同年電力中央研究所, 1987 年東京大学工学部講師, 1989 年同助教授, 1999 年東京大学新領域創成科学研究科教授。専門は認知システム工学。日本原子力学会, ヒューマンインタフェース学会, ANS などの会員。