A New Educational Method to Acquire and Transfer Experience-based Wisdom for Power Engineers

Sumie Kyomoto Member (Mitsubishi Electric Corp.)

Atsushi Doi Member (Tokyo National College of Technology)

Keywords: experimental knowledge, tacit knowledge, explicit knowledge, know-how, knowledge science, educational system

Experience-based wisdom is a potent form of expertise built on specialized knowledge and skills, tacit knowledge and insights etc. Experimental knowledge and skills have been transferred through an apprentice system and on-the-job training (OJT). Electric power industry faces circumstances where advances in system automation technologies and enhancement of operational reliability make OJT opportunities less frequent and consequently it becomes difficult to rely simply on a traditional method based on OJT for successfully passing knowledge and skills from one generation of technicians to another. In addition, the “year 2007 issue” puts companies concerned at risk of losing sophisticated skills or know-how which veterans in their employment have accumulated over many years of service.

This paper discusses, in light of the usefulness of “guided experience” under the apprentice system, a training/education scheme designed to realize an inheritance of experienced personnel’s know-how, in particular tacit knowledge, and a new educational system which is based on this notion.

A system is proposed which involves: 1) making use of a work simulator, 2) accumulating tacit knowledge which experienced personnel use as the way or process to identify, analyze and solve complex problems in specific challenging situations, and 3) realizing “learning by doing” which is supported by the database of tacit knowledge. Trial on a prototype has proved the feasibility of this system.

The concept of the proposed system and required functions to develop experience-based wisdom are shown in Fig. 1 and Table 1 respectively. Conventional training facilities for power engineers, which feature simulation-based OJT, let a trainer pass down his experimental knowledge directly to trainees. This system, by contrast, permits inexperienced personnel to acquire such know-how from the system itself even if a trainer is non-existent time-wise or

space-wise. This system is expected to enable a limited number of experienced people to train a large number of the less experienced as well as to assure storage and transfer of know-how obtained by preceding generations of employees.

The following are principal advantages which the system offers:

- (1) Experienced personnel can help deposit know-how in the system without much concern about turning it into document form.
- (2) Inexperienced personnel can acquire know-how empirically on the basis of “learning by doing” which is provided by the system.
- (3) Passing experienced personnel’s approach to problem solution without a means prepared in document form gives learners the chance to take over hidden know-how.

Fig. 1. The concept of the new system

Table 1. Required functions to develop experience-based wisdom

Learning modes	Learning processes	Development of system functions	
		Levels of learning goal (training materials)	Primarily required functions
Guided Practice	Practice under the supervision of a knowledge coach	High-difficulty level problems encountered in the past and examples of practiced solutions	Function allowing learners to solve a problem by themselves according to a procedure used by experienced personnel
	Feedback to oneself which results from teaching acquired know-how to others		Function which accumulates learner's own procedures which have been applied
			Arrangement in which discussions are made on questions raised by others
Guided Observation	Observing knowledge coach's approach	Solution process for high-difficulty level problems encountered in the past	Function which permits observing problem-solving processes used by experienced personnel
	Feedback which results from discussing observation results with a knowledge coach		Function allowing learners to solve a problem by themselves and to receive check/guidance in regard to difference between problem-solving process of their own and the one used by experienced personnel
			Arrangement in which learners ask experienced personnel questions about what they find uncertain and have a discussion for clarification
			Arrangement in which relevant material can be searched for information desired
Guided Problem Solving	Tackling a problem together with a knowledge coach	Mainly, high-difficulty level problems expected in the future and examples of solutions	Function allowing learners to solve a problem by themselves and to obtain useful information in regard to difference between problem-solving process of their own and the one used by experienced personnel
			Arrangement for discussions with others and search into relevant material

熟練ノウハウの継承を目指した電力技術者教育方式のシステム化検討

正員 京本寿美恵* 正員 土井 淳**

A New Educational Method to Acquire and Transfer Experience-based Wisdom for Power Engineers

Sumie Kyomoto*, Member, Atsushi Doi**, Member

Electric power industry faces circumstances where advances in system automation technologies and enhancement of operational reliability make on-the-job training (OJT) opportunities less frequent and consequently it becomes difficult to rely simply on a traditional method based on OJT for successfully passing experimental knowledge and skills from one generation of technicians to another. In addition, the “year 2007 issue” puts companies concerned at risk of losing sophisticated skills or know-how which veterans in their employment have accumulated over many years of service.

This paper discusses, in light of the usefulness of “guided experience” under an apprentice system, a training/education scheme designed to realize an inheritance of experienced personnel’s know-how, in particular tacit knowledge, and a new educational system which is based on this notion. A system is proposed which involves: 1) making use of a work simulator, 2) accumulating tacit knowledge which experienced personnel use as the way or process to identify, analyze and solve complex problems in specific challenging situations, and 3) realizing “learning by doing” which is supported by the database of tacit knowledge. Trial on a prototype has proved the feasibility of this system.

キーワード：経験知，暗黙知，形式知，ノウハウ，知識科学，教育システム

Keywords: experimental knowledge, tacit knowledge, explicit knowledge, know-how, knowledge science, educational system

1. はじめに

近年，我が国では「科学技術離れ」「理科離れ」が大きな社会問題となっており，科学技術創造立国の実現に向け，科学技術関係の人材の質と量の確保が重要な課題となっている。また，電力分野においては，昨今急激な発展を遂げている情報通信分野に比べた相対的な魅力の低下の懸念があり，人材確保の対策が強く望まれている。

一方，電力技術者の教育訓練においては，各種システムの自動化や高信頼度化によるトラブル遭遇機会・保守機会の減少により，従来これらの経験を通じて習得していた知識・技術が伝承しにくい環境になっている⁽¹⁾。

加えて，約 670 万人を数える「団塊世代」が一斉に退職

することにより企業活動に大きなダメージを与えるとされる，「2007 年問題」が指摘されている⁽²⁾。2006 年版「ものづくり白書」⁽³⁾によれば，2007 年問題に対する危機意識を持つ企業は，全産業で 33.7%，製造業では 41.1%に上る。この 2007 年問題における指摘の一つは，「ノウハウ・技術継承の危機」であり，特に危機意識の高い業種の 90%近くが問題点として深刻にとらえている。ここでは，大量の熟練技術者の退職に伴い，それまで培ってきた高度な技術・ノウハウが企業から失われてしまうことが危惧されていて，これは，経験から得られるいわゆる「暗黙知」についても同様である。各企業は様々な方法でこの対策に取り組んでいるものの，人材や時間の不足，教える側と教えられる側のレベルギャップ等により困難を極めているというのが現状である。

このような情勢から，技術者教育を取り巻く状況における重要な問題の一つである「人材力，技術の担い手，技術伝承への危機感」⁽⁴⁾への対策として，限られた人材により技術・ノウハウの蓄積と継承を円滑に進められる工夫が必要となる。これを実現する方法の一つにコンピュータの活用があり，これまで，ノウハウを知識データベース化する

* 三菱電機（株）系統変電システム製作所
〒651-2271 神戸市西区高塚台 1-5-8
Mitsubishi Electric Corporation
1-5-8, Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe 651-2271

** 東京工業高等専門学校 電気工学科
〒193-0997 八王子市梶田町 1220-2
Tokyo National College of Technology
1220-2, Kunugida-machi, Hachioji 193-0997

試みがいくつか進んでいる。しかし、熟練者が経験により体得した暗黙知（経験知）は明確化して伝承することが困難であり、これまでの試みは十分ではないと考えられる。

暗黙知は、古来より、徒弟制という形を通じた、指導の下での体験により伝承されてきた。例えば、企業においては、指導者の下で実業務の多様な経験（OJT）を繰り返すことにより、創造性が発揮できる知識として伝承されている。

本稿では、徒弟制によるところの「指導の下での体験」の有用性を鑑み、熟練者のノウハウ、特に、暗黙知を伝承するための教育（学習）支援方法と、これに基づく新しい教育システムを論じる。教育対象業務のシミュレータを活用することにより、特殊条件下での複雑な検討が必要な個々の問題の解決のノウハウを、熟練者のアプローチの方法や手順として蓄積し、それらが蓄積された暗黙知データベースの下で「実践による学習」を行える新たな方式を提案する。また、実際の業務を想定したプロトタイプにより、その実現性を検証する。

2. ノウハウの継承と学習

〈2・1〉 経験による知識 知識科学の分野において、「暗黙知」とは、言語・図表・数式などで表現できない身体的な知であると定義され、経験を通して獲得されるため「経験知」とも言い換えられる。暗黙知と対比されるのは「形式知」であり、これは言語などで説明できる知識である。熟練者のもつノウハウとは、形式知と暗黙知を含めた総合的知識や判断力・洞察力を駆使して想定外の事象に遭遇しても適切に対処できる能力である、と考えることができ、ノウハウ継承の鍵は暗黙知の継承にあると言える。

〈2・2〉 暗黙知の継承と学習 暗黙知の継承については種々の議論がなされている⁽⁵⁾。文献(5)でも論じられている SECI モデルによれば、「暗黙知を言語化して形式知に変換し、共有可能にされた、あるいは、新たに創造された形式知は、そのままでは個人が活用することができないことがある」「個人が外部から取り入れた形式知を活用するためには、自分の中でその知識を消化し、暗黙知として自分の身につけるプロセスが必要」とされる。また、最近の新しい着眼点として、「初心者が経験知を獲得するには、習得

過程に付き添って指導し続けるコーチの存在が不可欠」とされている。また、レオナルドラ⁽⁶⁾は、「暗黙知／経験知を得るために必要なことは経験、特に、ナレッジ・コーチの“指導の下での体験”によって継承が可能」とし、暗黙知継承への推移モデルを提唱している。

表1にレオナルドラの示す、暗黙知継承への推移モデル（以下、「推移モデル」）を示す。暗黙知の継承には、表に示すとおり、「実践による学習」が不可欠であるとされている。このうち、「指導の下での実践」の学習モデルは、「反省を指導し、成果についてフィードバックできる人の監督の下で実践を繰り返すこと」とされ、「指導の下での観察」は、「ベテランに張り付かせること（観察）とフィードバックすること（観察したことについての議論）の組み合わせ」とされる。また、「指導の下での問題解決」は、「教える側も共に問題と格闘し、教えられる側はいかに問題にアプローチすべきかを学ぶ。ナレッジ・コーチは知識よりも実践方法を伝授する。」とされている。

電力会社における技術者教育形態の過去の調査事例⁽⁴⁾をこれらのモデルに対応させたものを表2に示す。社内の研修の他、社内上位技術者やメーカとのOJTなどを通じ、「実践による学習」が網羅されていて、このモデルは従来の教育訓練方法とよく合った現実的なものであると言える。

以上の議論をもとに、ここでは、熟練者のノウハウの継承を円滑に進めるため、推移モデルの「指導の下での実践」から「指導の下での問題解決」までをトータルにデザイン

表1 暗黙知継承への推移モデル⁽⁶⁾

Table 1. The model to transfer tacit knowledge.

	Learning modes
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> <div style="font-size: 2em;">↓</div> </div> <div> <div>Passive Perception</div> <div>Active Learning</div> </div> </div>	Rules of Thumb
	Stories with a Moral
	Socratic Questioning
	Guided Practice
	Guided Observation
	Guided Problem Solving
	Guided Experimentation

表2 電力会社における技術者教育形態の例

Table 2. An example of training methods in electric power companies.

Learning modes	Teaching patterns for entry-level engineers	Teaching patterns for intermediate-level engineers
Guided Practice	<ul style="list-style-type: none"> Training or guidance given by expert engineers through routine work 	<ul style="list-style-type: none"> Training or guidance given to entry-level engineers through routine work Collective training intended for engineers who are involved in such activities as planning, design, operations, construction, or maintenance
Guided Observation	<ul style="list-style-type: none"> A briefing after the installation of equipment and/or factory witness testing A meeting with a supplier to discuss specifications 	<ul style="list-style-type: none"> Joint research and/or development effort with a manufacturer
Guided Problem Solving	<ul style="list-style-type: none"> A directly-run course at a training facility under the guidance of higher-ranking personnel 	<ul style="list-style-type: none"> A briefing after the installation of equipment and/or factory witness testing A meeting with a supplier to discuss specifications A directly-run course at a training facility under the guidance of higher-ranking personnel

し、システム化することを試みる。

3. 電力技術者教育システム

〈3・1〉 システムの要件 今後求められる技術者教育システムは、従来社内外の OJT を通じて得ていた暗黙知を、少数の熟練者と少ない実務経験の環境下で得ることを可能とするシステムである。OJT による学習は、様々な問題における熟練者の模倣・観察や熟練者によるチェックを通じ、未熟練者が無意識のうちに暗黙知を獲得するものであり、このしくみをシステム化することが有効である。

電力分野における、模擬 OJT による教育訓練設備の代表的なものとして、系統操作やプラント運転などの訓練シミュレータが上げられる。これらは、トレーナの設定した訓練シナリオを用いて、トレーナの指導の下でトレーニングを受けることを想定して構築されており、暗黙知は熟練者であるトレーナから未熟練者であるトレーニングに直接伝承される。

提案するシステムは、熟練者の減少という環境の中、熟練者と未熟練者が時間的または空間的に共存していなくても、未熟練者への暗黙知伝承を可能とするもので、前述の知識科学的議論と背景状況から導き出されるシステムの要件は、以下の通りである。

- (1) 「推移モデル」における、「指導の下での実践」、「指導の下での観察」、「指導の下での問題解決」を経験するプロセスの実現
- (2) ナレッジ・コーチ（トレーナ）の役割を為すものの実現
- (3) 少数熟練者で多数の未熟練者を教育できること
- (4) 過去の複数の熟練者が持つ暗黙知を蓄積し、これらを用いて学習できること

これらの要件を実現するシステムの概念図を図 1 に示す。熟練者は何らかの手段で暗黙知をシステムに入力し、未熟練者は何らかの手段で暗黙知を習得する。システムは、熟練者からの暗黙知獲得と未熟練者への伝承を行い、未熟練者に対してのナレッジ・コーチの役割を為す。これにより、従来、熟練者と未熟練者の間で行われていた OJT を、システムと未熟練者の間で模擬的に実現できることになる。

〈3・2〉 構成要素 図 2 にシステムの構成要素を示す。基本的な要素は、対象業務のシミュレータ、業務シミュレータを用いて熟練者や学習者が問題を解決するアプローチを記録する収集蓄積機能、履歴データ、熟練者のアプローチを履歴データから再現する復元機能、及び、学習者のアプローチを熟練者のアプローチと比較するための比較・判定機能である。

ここで業務シミュレータとは、任意の教育対象業務において、教育対象業務を模擬的に実施することを可能とするものである。業務支援システム及び業務対象物のシミュレータがこれに相当する。例えば、電力系統解析・運用・計画の業務においては、業務支援システム⁽⁷⁾⁽⁸⁾には、電力系統解析支援システムや保護リレー整定支援システム、需給計

図 1 教育システムの概念図

Fig. 1. The concept of the new system.

図 2 システムの構成要素

Fig. 2. Basic elements of the system.

画システムなどがある。また、業務対象物のシミュレータには、各種の電力系統解析プログラムなどがある。この業務シミュレータは複数存在してもかまわない。

これらの基本要素を組み合わせることにより、システムは、熟練者のノウハウを獲得・蓄積し、それを学習者へ伝承することが可能となる。以下、その具体的方法を述べる。

〈3・3〉 ノウハウ獲得のための機能 〈2・1〉節に述べたように、熟練者の暗黙知は、明示的に表現することが困難である。このため、ある業務課題に対して熟練者が業務シミュレータを用いた模擬的な解決を行う過程で、システムが履歴データとして熟練者のノウハウを獲得する。

ここで、履歴データは、ある業務課題に対する業務実施者の解決のアプローチを、操作手順、業務手順、実施事項等を示すデータの形で保存したものである。「業務手順、実施事項等」とは、例えば、前述の電力系統解析業務を例にすると、どのような条件でどのような解析をどのような順序で実施したか、また、解析の結果のどのような点をどのようなデータで確認したか、確認の結果、どのような処置を施したか、などにあたる。つまり、履歴データを構成するデータ全体には、暗黙的に当該操作者の業務への取り組みの方法や課題解決のノウハウが反映されていることとなる。

表3 ノウハウ伝承のための機能要件

Table 3. Required functions to develop experience-based wisdom.

Learning modes	Learning processes ⁽⁶⁾	Development of system functions	
		Levels of learning goal (training materials)	Primarily required functions
Guided Practice	Practice under the supervision of a knowledge coach	High-difficulty level problems encountered in the past and examples of practiced solutions	Function allowing learners to solve a problem by themselves according to a procedure used by experienced personnel
	Feedback to oneself which results from teaching acquired know-how to others		Function which accumulates learner's own procedures which have been applied
			Arrangement in which discussions are made on questions raised by others
Guided Observation	Observing knowledge coach's approach	Solution process for high-difficulty level problems encountered in the past	Function which permits observing problem-solving processes used by experienced personnel
	Feedback which results from discussing observation results with a knowledge coach		Function allowing learners to solve a problem by themselves and to receive check/guidance in regard to difference between problem-solving process of their own and the one used by experienced personnel
			Arrangement in which learners ask experienced personnel questions about what they find uncertain and have a discussion for clarification
			Arrangement in which relevant material can be searched for information desired
Guided Problem Solving	Tackling a problem together with a knowledge coach	Mainly, high-difficulty level problems expected in the future and examples of solutions	Function allowing learners to solve a problem by themselves and to obtain useful information in regard to difference between problem-solving process of their own and the one used by experienced personnel
			Arrangement for discussions with others and search into relevant material

この履歴データは、収集蓄積機能と業務シミュレータの両方により蓄積される。収集蓄積機能は、業務シミュレータの動作や入出力を常時監視し、得られた情報を履歴データとして蓄積する。業務シミュレータを複数用いる業務の場合は、全ての業務シミュレータを監視し、これらの使われ方の前後関係も蓄積する必要がある。業務シミュレータは、これを補完する情報として、各業務の教育に必要な固有情報を、動作ログなどにより履歴データとして蓄積する。

本機能により、熟練者は、特別に意識をすることなく、業務シミュレータを用いて模擬的に課題解決に当たることにより、解決のノウハウをシステムに蓄積することが可能となる。訓練シミュレータの訓練シナリオ設定や、近年試みられている、熟練者の業務手順のマニュアル化などにおいては、熟練者（トレーナ）の負担増が懸念されているが、本機能により、教育における熟練者の負担の軽減という点での改善効果も得られる。

〈3・4〉 ノウハウ伝承のための機能 〈2・2〉節に述べたように、効果的なノウハウの習得は、模擬 OJT を通じ、「推移モデル」に示される「指導の下での実践」、「指導の下での観察」、「指導の下での問題解決」のプロセスを経験することにより実現可能であると考えられる。そこで、これらの各学習形態における学習プロセスと、これを支援するために必要な機能を分析した⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。この結果を表3に示す。ここに示す通り、学習者自身が熟練者の実施手順に従って課題解決を模擬的に実施する機能、熟練者の解決プロセスを観察する機能、及び、熟練者の解決プロセスとの比較チェック・学習者へのガイダンス提示機能がノウハウ伝承のための必須機能として上げられる。

これらの機能は、図2に示す収集蓄積機能、復元機能、比較・判定機能を組み合わせることにより実現する。収集蓄積機能は、学習者が業務シミュレータを用いて業務課題に取り組む履歴を履歴データとして蓄積し、比較・判定機能

は、熟練者の履歴データと学習者の履歴データを比較し、学習者の取り組みが適切か否かを判定する。復元機能は、熟練者の取り組みを復元するものである。

比較・判定は、熟練者と学習者の履歴データの完全一致を判定するものではない。業務課題解決の過程で必ず一致すべき点とそうでない点があるため、これに基づき判定基準を設定する。主要な基準は、業務手順の適否、入力データの適否、結果の正誤、要実施事項の過不足などである。

以上の基本要素を組み合わせることにより、様々な形態の学習が可能となる。例えば、学習者が業務課題に取り組む過程の適当なタイミングで比較・判定処理を行うことにより、熟練者の実施手順に沿った取り組みをガイドする、即ちナレッジ・コーチの監督の下で課題解決に取り組む状況を模擬することができる。また、学習者が業務課題を解決した後に取り組みの適不適を総合的に判定することで、反省・試行錯誤による学習が可能となる。そして、復元機能を用いて熟練者の様々な取り組みを観察させることにより、個別ケースに依存しないより深いノウハウについても熟考を促すことができる。

本機能によれば、熟練者がその場にいらなくても、システムに蓄積された熟練者の履歴データから、様々な形態での学習が可能であり、未熟練者の学習機会の自由度が増えるという効果も得られる。

4. プロトタイプによる実現性の検証

〈4・1〉 プロトタイプの適用分野 これまでの議論に基づき、実際の業務を想定したプロトタイプを開発することにより、システムの実現性を検証する。ここでは、その適用分野として、保護リレー運用技術者の教育に着目し、リレー整定検討技術を教育対象技術とする。

リレーの整定検討は、リレーの事故検出感度、動作時限の適正な値を決定する業務であり、種々の解析計算、整定

図3 適用対象業務と業務シミュレータの機能
Fig. 3. The application area of the prototype.

図5 実践ベース学習の画面例
Fig. 5. An example of the Guided Practice mode.

図4 システムのメニュー画面
Fig. 4. The menu screen of the prototype.

図6 観測ベース学習の機能
Fig. 6. Functions of the Guided Observation mode.

計算及びリレーの動作協調の綿密な検討を必要とする複雑な業務であると共に、ノウハウが要求される高度な業務である。図3に整定検討業務フローの一例を示す。本プロトタイプでは、業務シミュレータとして、図中に示す機能を持つ整定検討システムを作成し、使用している。

〈4・2〉システムの全体機能 システムのメニュー画面を図4に示す。主機能として、以下の機能を実装した。

(1) 「知識の蓄積」機能 熟練者のノウハウ獲得のための機能で、熟練者が整定検討システムを用いて整定検討を実施する履歴を履歴データとしてシステム内に蓄積する機能(「知識の蓄積」と、ノウハウ伝承機能にて用いる、比較・判定の基準やガイドメッセージの編集を行う機能(「知識情報生成・編集」)を持つ。

(2) 「学習コース」機能 未熟練者へのノウハウ伝承のための機能として、推移モデルの学習形態に対応する学習を可能とする。

システム実現の鍵は、表3に示すノウハウ伝承機能の効果的な具現化にある。以下、「学習コース」の3つの機能と期待する効果について述べる。

〈4・3〉実践ベース学習 本機能は、表3における「指導の下での実践」を実現するものである。学習者が整定検討システムを用いて課題を解決する過程の各操作ステップ

で、システムが学習者の課題解決手順と熟練者の履歴データを比較する。図5に実践ベース学習中の画面例を示す。両者の手順が一致しない場合はエラーとし、エラー内容を示すガイドメッセージ(画面中央)や熟練者の手順(画面右方)を提示することにより、熟練者の解決手順と同様の方法で課題解決を行うよう導く。

これにより、ナレッジ・コーチに逐一指導を受けながら、ステップバイステップで、必要な検討事項と、各実施事項の意味を学び、課題解決の一方法を身につける、という状況を模倣することができる。

〈4・4〉観測ベース学習 本機能は、表3の「指導の下での観測」を模倣するもので、図6に示すとおり、「観測」、「チャレンジ」、「フィードバック」の組み合わせから成る。

まず、「観測」機能では、システムが熟練者の履歴データを復元することにより、熟練者が整定検討システムを用いて整定検討を行う手順を動画で再現する。学習者は、熟練者の取り組みを観察することにより、課題解決の一連の流れを学ぶ。また、単一のケース(課題)の観測ではノウハウの習得が困難な場合でも、複数の類似ケースを観察することにより、それらに共通的に存在するノウハウを習得す

ることが可能となる場合がある。このことを考慮し、複数のケースの観察も行える機能とした。

次に、学習者は「チャレンジ」機能により模擬実践を行う。本機能では、学習者が整定検討システムを用いて課題を解決する過程をシステムが熟練者の履歴データと比較するが、以下の点で実践ベース学習との違いを持たせた。第一に、課題解決手順判定の制約を緩め、操作に自由度を持たせることで、学習者の能動的な取り組みと熟考を促す。例えば、細かい手順が前後したり、必須でない部分の省略があったりした場合でも必要な事項ができていれば良と判定される。第二に、不適切と判断される操作を行った場合、システムは不適切である旨のみを示し、答えを提示しないことにより、学習者に考えさせる。

ここでは、学習者は「観察」の過程で得たノウハウを実践することにより確認し、潜在的な不明点を明らかにする。また、熟練者と異なる方法を試みることにより、多様な解決方法を習得し、自己のノウハウとしての定着を図る。

「フィードバック」機能は、「チャレンジ」機能で不明点があった場合に、当該部分についての再確認を行う機能と位置付ける。学習者は、当該部分についてガイダンスに沿った操作を行い、システムは学習者の操作を熟練者の手順と比較する。これらの間に違いが検出された場合は、熟練者の手順が部分的に再現される。これにより、不明点を絞り込んでナレッジ・コーチに確認し、詳細な指導を得ることにより、理解を深める過程が模擬できる。

〈4・5〉 取組ベース学習 本機能は、表3における「指導の下での問題解決」を模擬するものである。この段階では、ナレッジ・コーチにも正しい課題解決方法がわからない場合がある状況⁹⁾を想定することから、取組ベース学習の目標レベルは、将来の高難易度問題とする。

この段階では、学習者が未知の課題に自主的かつ積極的に取り組むことにより経験の幅を広げ、試行錯誤を通じてノウハウを強化し、ナレッジ・コーチの取り組みを参考にしながら、自己の取り組みを見直すことを期待する。また、自分自身の失敗経験を反省するだけでなく、ナレッジ・コーチの失敗を他山の石とし、自己のノウハウを磨くことも期待される。

これらを前提とし、本機能では、学習者は何ら制約を受けることなく整定検討システムを利用し、課題解決にあたる。学習者が課題解決を終了した後、システムが学習者の履歴データと熟練者の履歴データを比較し、解決プロセスの相違を参考情報として提供する。

〈4・6〉 推移モデルのシステム化検証 本プロトタイプにより、距離リレーの整定検討の課題を想定し、システムの実現性を確認した。想定する熟練者の手順を「知識の蓄積」機能を用いて蓄積し、この熟練者の履歴データにより、各学習機能が実現できることを検証した。学習者の履歴データと熟練者の履歴データの比較・判定項目として、図3に示すフロー中の、故障計算や協調チェック（リレー応動シミュレーション、短絡協調図によるチェック）の実

施ケース・結果確認項目の過不足や、整定計算の入力データの妥当性、業務手順などを設定し、実践ベース学習、観察ベース学習、取組ベース学習で判定方法を変化させることで、〈4・3〉節～〈4・5〉節に述べた機能を実現した。図5は、実践ベース学習で、故障計算の実施ケースの設定に誤りがあると判定された画面の例である。

実際のOJTにおいては、熟練者が未熟練者に指導をする場合、レベルに応じて指導方法を変化させることが行われるが、本プロトタイプでも実践ベース学習、観察ベース学習、取組ベース学習で比較・判定の方法と不適切時の応答の方法に変化を持たせることにより、実際のOJTに近い状況を模擬できる。前述の3つの学習ステップを踏むことにより、推移モデルに示される実践による学習を模擬的に行うことができ、熟練者のノウハウ習得と自己のノウハウ醸成が可能となると考えられる。

なお、学習者の履歴データと熟練者の履歴データの比較・判定のための基準は、「知識情報生成・編集」機能により編集できる。主要項目は、各手順の判定要否、判定方法（値の比較判定、実施有無判定など）、不適切と判定された場合のメッセージの内容などである。システムは熟練者の履歴データから、課題解決手順の全ステップの生成と、各ステップに対する上記項目の設定を行い、熟練者が必要に応じて編集を行うことができる。

5. まとめ

本論文では、熟練者のノウハウ伝承の鍵となる暗黙知の伝承について、徒弟制によるところの「指導の下での体験」の有用性に着目し、効果的な継承・学習方法を考察している。また、この考え方に基づく電力技術者教育システムを提案し、プロトタイプにより実現性を検証している。本システムの特長と期待される効果は以下の通りである。

(1) 熟練者は業務シミュレータを用いた模擬的な課題解決を行うことにより、知識の明文化を意識することなく、ノウハウをシステムに蓄積することができる。

(2) 未熟練者はシステムを用いた模擬OJTを通じて、実務との親和性が良い形で知識・ノウハウを体得できる。

(3) 熟練者の取り組みをそのまま未熟練者に伝えることにより、熟練者が意識していないノウハウについても、未熟練者が吸い上げることができる。

(4) 観察と実践を組み合わせた能動的かつ体験型の学習により、失敗・熟考・反省を通じた、応用力、考える力の醸成に寄与する。

熟練者の減少やOJTの機会の減少という環境の中、知識・技術の伝承は今後ますます重要な課題となる。本システムの実現により、少数の熟練者による多数の未熟練者の教育が可能となるばかりでなく、過去の熟練者のノウハウの蓄積と継承が期待できる。今後、比較・判定機能への柔軟性の付加、形式知データとの組み合わせにより学習効果を高める工夫など、実用化に向けて更なる検討を進める。

(平成19年2月24日受付、平成19年6月1日再受付)

文 献

- (1) 保護リレーシステム工学の体系化調査専門委員会：「保護リレーシステム工学の体系化と技術者育成」, 電気学会技術報告, No.717 (1999-2)
- (2) 経産省・厚労省・文科省：2005 年版ものづくり白書（製造基盤白書）(2005-6)
- (3) 経産省・厚労省・文科省：2006 年版ものづくり白書 (2006-6)
- (4) M. Yoshida: "Towards Innovative Engineering Education", *IEEJ Journal*, Vol.125, No.10, pp.621-624 (2005-10) (in Japanese)
吉田 眞：「技術者教育を取り巻く状況について」, 電学誌, **125**, 10, pp.621-624 (2005-10)
- (5) 杉山公造・永田晃也・下嶋 篤：ナレッジサイエンス, pp.16-19, pp.80-85, 紀伊国屋書店 (2002-12)
- (6) D. Leonard and W. Swap: "Deep Smarts", *Harvard Business Rev.*, Vol.30, No.2, pp.157-169 (2005-2) (in Japanese)
ドロシー レオナルド・ウォルタースワップ：「ディープ・スマート：暗黙知の継承」, *Harvard Business Review*（日本語版）, **30**, 2, pp.157-169 (2005-2)
- (7) 土井 淳・清水恒夫・京本寿美恵：「電力系統運用業務支援システム」, 三菱電機技報, Vol.70, No.4, pp.17-23 (1996-4)
- (8) 系統運用業務支援システム調査専門委員会：「系統運用業務支援システム」, 電気学会技術報告, No.642 (1997-7)
- (9) S. Kyomoto and A. Doi: "The Concept of a New Educational System to Acquire and Transfer Experience-based Wisdom", *The Papers of Technical Meeting on Frontiers in Education, IEE Japan, FIE-06-12*, pp.57-61 (2006-3) (in Japanese)
京本寿美恵・土井 淳：「熟練ノウハウ継承型技術者教育システムの検討—開発構想—」, 電気学会教育フロンティア研資, FIE-06-12, pp.57-61 (2006-3)
- (10) S. Kyomoto and A. Doi: "Development of a New Educational System to Acquire and Transfer Experience-based Wisdom", *Proc. of the Seventeenth*

Annual Conference of Power & Energy Society, IEE Japan, 423, pp.44-25-44-26 (2006-9) (in Japanese)

京本寿美恵・土井 淳：「新・電力技術者教育システム—熟練ノウハウの継承—」, 平成 18 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 423, pp.44-25-44-26 (2006-9)

京 本 寿美恵

（正員） 1964 年 10 月 11 日生。1987 年 3 月神戸大学理学部卒業。同年 4 月三菱電機（株）入社。現在、系統変電システム製作所に勤務。主として系統・配電分野の業務支援システム、保護制御システムに関する業務に従事。

土 井 淳

（正員） 1952 年 7 月 7 日生。1977 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機（株）入社。2005 年 4 月東京工業高等専門学校教授、現在に至る。電力・エネルギーシステムの解析・制御・計画に関する研究に従事。工学博士。IEEE, エネルギー・資源学会会員。