共同作業による知識の創造、蓄積、伝承を支援する 対話型教育支援システムの試作

正員 田 中 秀 雄 (東京電力)

正員 植 田 孝 夫 (北見工大)

正員 西 田 正 吾 (大阪大学)

A Computer-Supported Collaborative Learning Environment for Knowledge Creation, Store and Transfer in Power System Education

Hideo Tanaka, Member (Tokyo Electric Power Co.), Takao Ueda, Member (Kitami Institute of Technology),
Shogo Nishida, Member (Osaka University)

This paper proposes a computer-supported collaborative learning environment to enhance knowledge creation, store and transfer in power system education. Recently power systems have become more complex than before. This situation has become more noticeable year by year, and there is a strong need to develop an educational system which is useful for novice engineers. A number of research on CAI (Computer-Assisted Instruction system) has been done to overcome the problem. A central concern of the research is to make computer more intelligent by applying Artificial Intelligence technology, such as knowledge representation, student modeling, etc. On the other hand our research focuses on collaboration of engineers as an important activity in learning process, and provides a collaborative learning environment to enhance knowledge creation, store and transfer in cooperation with other engineers. In terms of computer system the proposed system is a learning environment based on a personal visual simulator which has a function to support collaborative work with other engineers through computer network.

In this paper, first the significance of this research is made clear in comparison with research on CAI and CSCW (Computer-Supported Cooperative Work). Secondly, the features of the system, basic function, architecture of window sharing and data structures are explained in detail. Finally, the effectiveness of the system is discussed by using an example of power system, and results of simple evaluation are shown.

キーワード：教育支援，共同作業支援，知識の伝承支援，グループウェア，ビジュアルシミュレータ

1. はじめに

電力システムを安全に運用するためには電力設備の高度化を図ると共に、技術者の教育訓練環境の整備を行って人材の育成に努めることが重要である。特に技術者教育においては教科書のような概念的知識を教授するだけでなく、その応用や実験、またグループ学習や熟練技術者との交流を通して知識を具体的に生きたものにしていく努力が必要である。また、個人が習得した知識やグループで検討した事柄は個人や特定グループの知識として保有するのではなく、同僚や次の世代の人々が利用できるように環境を整備して知識の伝承を図っていくことも重要である。これは熟練技術者の将来のリタイアに備えて、技術者が長年に渡って蓄積してきた知識を次の世代へ伝承していく観点からも大切

である。

電力分野で知識の生成、蓄積、伝承をテーマにした研究には、機械による知識の獲得を目的とした機械学習関連の研究⁽¹⁾を除くと筆者らの保守教育支援システム⁽²⁾や理解支援システム⁽³⁾の研究があるが、共同作業やグループ間での知識の共有や伝承については考えられていない。また、共同作業支援に関する研究については共同文章作成支援システム⁽⁴⁾や電子会議システム⁽⁵⁾など、主にオフィスワークを対象にした研究があるものの電力分野での研究はほとんど見られない。

本論では電力システムの技術者教育を目的に、共同作業を通して知識の生成、蓄積、伝承を支援する対話型教育支援システムを提案する。本システムは従来の個人のため教育支援環境に加えてコンピュータネットワークを介して離れた

場所にいる人とコンピュータ画面やデータを共有することが可能であり、他者と共同で系統現象を解析したり議論することができる。また、検討した事柄や習得した知識を構造化して管理する機能を提供しており、他者や次の世代への知識の伝承を支援している。本論文の構成は、まず第2章で本研究の狙いと位置付けを明確にするために本研究と関連する教育支援システムと共同作業支援システムの研究について簡単に述べる。また、本システムが想定している電力系統の教育の場面についても説明する。第3章では本システムの機能と構造について述べる。そして、第4章では電力系統へ適用した例を示し、本システムの有効性を検討する。

2. 共同作業と知識の生成、蓄積、伝承

2.1) 教育支援システム

コンピュータを利用した教育支援システムの研究は図1に示すように、学習観の違いによって教授型と環境型の2つのタイプに大別できる。前者はコンピュータに教師の役割をさせるタイプのもので、知識は教師から生徒へ教授されるところの学習観に基づいて設計される。ドリル型CAI (Computer-Assisted Instruction system) や人工知能技術を用いた、いわゆる知的CAIも大部分はこのタイプに属する。一方、環境型ではコンピュータは人間の道具となるように設計されており、生徒は便利な道具があれば自分で知識を創造し構成していくという学習観に基礎を置いている。本システムは環境型CAIのタイプに属する。

ところで、最近認知科学の分野では「人の知的営みは道具・文化・他者の援助を受けながら行われており、本質的に社会に分散している」、また「コンピュータの重要な役割はそのような分散した知を統合することである」とする認識が急速に高まってきている⁽⁶⁻⁹⁾。この考えは教育支援のあり方に再認識を迫るものである。従来のCAIは教授型にしる環境型にしる、個人の活動の支援を主目的にしており、他者や文化の存在を十分に視野に入れて設計されていなかった。筆者らは教育支援システムの設計では「分散した知の統合化」の視点が重要であると考え。そこで本システムでは従来の環境型CAIの主目的であるパーソナルな活動支援から、他者とのコミュニケーションや共同作業の支援、他者の知識へのアクセスや他者への知識の伝承を支援するといったインターパーソナルな活動支援へと、教育支援の焦点を移動させてシステム設計を行っている。

2.2) 共同作業支援システム

共同作業に関する研究はCSCW (Computer-Supported Cooperative Work) と呼ばれ、80年代後半から活発に研究されてきている。研究の方向はその名称が示すように、CS (Computer-Support) すなわち、コンピュータ支援に関する研究とCW (Cooperative Work)、人々の協調活動に関する研究の2つがある。前者はグループウェア研究とも呼ばれ時間と空間的特性によって図2のように3つのタイプに分類される。研究には共同文書作成や電子会議支援システム

特徴 タイプ	学習観	コンピュータの役割
教授型	知識は教師から生徒へ教授するもの	教師
環境型	知識は自ら構成するもの (コンピュータはその手助けをする)	道具 (環境)

図1 教育支援システムの分類

Fig. 1. Computer-based learning system

時間 空間	同期	非同期
対面	・電子会議室システム	
分散	・在席マルチメディア会議システム ・テレビ会議システム	・協同文書作成 ・プロジェクト管理

図2 グループウェアの分類

Fig. 2. Groupware system

などがある。一方、後者の研究には組織に共同作業支援システムが導入されたときの組織に与える影響に関する研究や共同活動における参加者の役割分析などの研究がある。

本システムは共同作業支援システムとしては主に前者のコンピュータ支援に関する研究に属し、時間と空間的特性の分類では主に非同期分散型作業の支援を行う。しかし、第3章で述べるようにウィンドウ共有とポインター共有機能により同期分散型作業も支援している。すなわち、同期分散型環境では1) 複数の人と共同で系統解析や系統現象について議論すること、また非同期分散環境では2) 解析結果や習得した知識を構造化して蓄積すること、3) これを同僚や新人が参照したり新たに情報を付加しながら知識の伝承を行うことを支援する。

2.3) 電力分野における共同作業と知識の伝承

言うまでもなく、電力系統は多数の機械、人、組織が複雑に関わりながら運用されている巨大システムであり、電力系統の至る所で共同作業が行われていると言える。本論はそのうち技術者の教育支援を考えている訳であるが、具体的には以下の場面を想定している。

電力会社の技術者研修や教育で系統現象を理解したり、系統に内在する問題を検討する場面を想定し、ここで1) 系統現象を容易に分析できる環境、2) データのプライバシー保護とグループ間でのデータ共有を可能にする環境、3) グループ間でウィンドウとポインターをリアルタイムに共有できる環境、4) 議論の結果やコメント、モデル等を構造化して蓄積できる環境を提供することによって、共同作業による知識の生成、蓄積、伝承を支援している。その概念図を図3に示す。

ここで共同作業とは同時代の人々の間で行う場面だけで

図3 共同作業による知識の生成、蓄積、伝承の場面
Fig.3. Knowledge creation, store and transfer through collaborative work

なく、世代交代によって次の世代へ知識が伝承されていくといった間接的な共同作業の場面も想定している。この場合は前世代の人が作成したデータを介して共同作業を行っていることになる。データの構造化と蓄積支援はこの支援になっている。このように複数の人が時間と空間を越えて共同的に学習できる環境を提供することによって、他者の考えに触発されて自分の考えを洗練させたり新しいアイデアを創造するといった効果が期待できる。また、様々な人が知識の構造化と蓄積を通して、共同活動で重要な組織や文化への貢献や参加意識を持つこともできる。この点は従来の教育支援システムにない本システムの大きな教育的特徴となっている。

3. システムの機能と構造

ここでは本システムの基本的な機能と主要な特徴である共同作業環境の構造について説明する。なお、電子メールやテキストベースのリアルタイム会話機能TalkやPhoneも共同作業においては利用されるが、UNIXワークステーションに共通に備わっている機能であるので、ここではその説明を省略する。

3.1) 基本的な機能

本システムの基礎はシミュレータをベースにした対話型教育支援システムである。特徴は、スタンドアロンでは電力系統の特性や問題を教科書のように文章や図形を介して理解できるだけでなく、実際に自分でモデルを作成してシミュレーションを行い、実感のある問題分析ができること、また他者や前世代の人のモデルや考えを参照して自分の考えを洗練できることである。他方、ネットワーク構成ではウィンドウ共有機能により、シミュレーション環境を他者とリアルタイムで共有しながら共同的に議論や分析が行える点にある。図4にソフトウェア構造を示す。また以下に基本的な機能を列挙する。

- (1) モデル作成/実行 直接操作感覚の高いビジュアルインタフェースによる容易な系統モデルの作成、シミュレーションの実行、及び結果の確認
- (2) 潮流計算と短絡計算 計算プログラムを意識させない系統図と直結した入出操作と計算の実行

図4 ソフトウェア構成
Fig.4. Software structure

- (3) 実用的なモデリング 複数回線送電線、3巻変圧器、開閉器、甲乙母線切り替え等のモデリング
- (4) データの構造化と管理 関連データのリンク付け、共有データと個人データのビジュアルな管理
- (5) 共同作業環境 ウィンドウとポインター、そしてデータの共有

3.2) 画面構成

ユーザに提供される環境はウィンドウ上に構築されたビジュアルなシミュレーション画面であるが、ここではアイコン化された母線や発電機などをマウスで接続して容易に系統モデルが作成できる。この画面には系統モデルのほかにテキストと図形を併せて記述できるだけでなく、シミュレーションの実行や潮流などの可視化、また、3.5で述べるデータの構造化もマウス操作で容易に行える。

複数のEWS (Engineering WorkStation) とウィンドウを共有した共同作業の場面では上記のシミュレーション画面のほかに、オプションとして電子ホワイトボードを提供している。これによって通常の会議で使用するホワイトボードと同様に簡単なメモやラフな手書き図形などを共有しながら、複数の人と議論を進めることができる。図9に具体的な画面例が示されている。

3.3) ウィンドウ共有方式

現在、Xウィンドウシステムは多くのEWSに採用されており、実質上の業界標準のウィンドウシステムである。Xウィンドウシステムのアーキテクチャはサーバー・クライアントモデルに基づき、サーバーとクライアントの通信はXイベントの授受によって行われる。このためXウィンドウシステムは本質的にネットワーク対応になっている。サーバーの役割はキーやマウス入力要求とアプリケーションであるクライアントからの描画要求(出力)を処理することである。このようにXウィンドウはサーバー・クライアントモデルに基づいているため、そのアーキテクチャを改造して入出力分配機能を付加することで、比較的容易にウィンドウ共有機能⁽¹⁰⁾が実現できる。また、フリーウェアのウィンドウ共有ツールとしてWSCRAWLやshXなどがあり、INTERNET経由で入手できる。

本システムではXサーバーに入出力分配機能を持つウィンドウ共有ツールSharedXと共有ホワイトボード WSCRAWL

図5 ウィンドウ共有方式

Fig.5. Architecture of window sharing

図6 ウィンドウとデータの共有

Fig.6. Windows and data sharing

を用いて共有環境を実現している。また、共有ウィンドウに対する各ユーザの入力や共有ポインター操作は時分割で各ユーザに許容される方式になっている。図5に SharedX のウィンドウ共有方式を、また図6にウィンドウとデータ共有の構成を示す。図6ではユーザAとBがネットワークを介してウィンドウとポインター、そしてデータを共有している。

〈3.4〉データの共有

データ共有はNFS (Network File System) によって実現している。図6の例ではユーザAのディスクエリアA1をユーザAとBが共有している。A1はユーザBから見るとDISK (B)上の1つのディレクトリになっており、DISK (B)のデータと同様に扱うことができる。このようにNFSを使うと容易にデータ共有が可能であるが、本システムでは更にデータの共有化、グループ化、プライバシー管理を視覚的に行うために図7に示すデータ管理画面を提供している。

図に示すようにデータはツリー構造にグループ化されて管理される。共有ビューには各ユーザで共有されるデータ (ファイル名) が表わされており、ユーザAとBに同一のものが表示される。一方、個人ビューには個人データのみが表示され、各個人によって異なる表示となる。こうして個人データのプライバシーが保護される。また、拡大ビューには共有ビューか個人ビューの一部 (網かけの部分) が拡大されて表示される。拡大ビューに表示されるファイル名をマウスでクリックすることにより、そのファイル内容を

図7 データ管理画面

Fig.7. Data management window

(a) 画面イメージ

(b) データ構造

図8 知識の構造化

Fig.8. Structuring of knowledge

シミュレーション画面にロードできる。

〈3.5〉データの構造化

知識の蓄積と伝承支援の観点からデータの構造化について説明する。本システムが提供するエディターを用いると図8 (a) のシミュレーション画面のように系統モデル、テキスト、図形を複合した1つの画面を作成できる。データ全体は1つのファイルとして保存・管理されている。ここで母線と発電機、テキスト等のすべての対象は内部変数と手続きを併せ持ったオブジェクトとして定義されており、その内部変数のみがディスクへ保存される。

(b) ユーザBの画面

図9 適用画面例

Fig.9. An example of shared windows

テキストオブジェクトはリンク機能を持っており、テキストとファイルの間にリンクを張ることが可能である。これによって図8(a)に示すように関連するデータ間にリンクを張ってデータの構造化が行える。図8(b)にデータ構造を示す。図8(a)の例では電圧安定問題のテキスト(山田, 鈴木)と各コメントファイル間に、更にコメントファイルは他のファイルにリンクが張られデータの構造化が行われている。

ユーザは系統シミュレーションや説明文を使って電圧安定問題を調べる場合、必要に応じてリンクの張られたテキストからリンク先のファイルを呼び出し、他者のコメントなどを芋づる式に参照しながら問題に対する理解を深めることができる。こうして知識の伝承が可能となる。リンク機能のその他の使い方としては、系統の軽負荷状態と重負荷状態を比較検討するために関連付けることやデータ作成者らのプロフィールファイルとリンクを張ることなどが考えられる。特に後者の使い方は後に「誰が作成したか」、また「どのような人を介して知識が伝承されてきたか」という情報を知ることができるので重要である。

4. 検討と評価

4.1) 共同作業の検討

ここでは離れた場所にいる2人のユーザAとBが、本システムを使って共同的にVQ制御問題を理解する場面を例に本システムの効果を検討する。図9に各ユーザのEWS画面例を示す。この例では各ユーザは異なったメーカーのEWSを使用している。共有される画面はAのシミュレーション画面とホワイトボード画面、そして小さな矢印で示される共有ポインターである。その他の画面は共有されず、各EWS個別の画面となっている。また、ウィンドウの配置もそれぞれ独立に変更できる。

この例では、ホワイトボード画面にAがBの説明のためにフリーハンドで書いたVQ制御平面図の略図が示されている。またシミュレーション画面には系統モデル、電圧計やプロッターなどの観測ツール、説明文(右上)、参考モデルや他者のコメントを呼び出すリンク付きテキスト(左上)などが見える。ここで送電線には無効電力潮流が上書きで表示されている。潮流の大きさは線路の太さに変換され(線路中央で2分して送端と受端の潮流を表わしている)、また潮流の向きは矢印で示されている。

(1)まず、ユーザAは自分のEWS上でスタコンや変圧器タップ値を変えながらVQ制御を模擬し、潮流や V_2-Q_1 制御平面図などから制御の振る舞いを調べる。図9の系統では母線SAW1の変圧器タップと低圧側母線に投入されたスタコンによってVQ制御の振る舞いが調べられている。各種観測ツールには母線電圧、線路潮流、VQ制御平面上の動作点の振る舞いなどが示されている。

(2)ここで、もし不明な点があればBに相談する。このとき図9のようにネットワークを介して、Bと必要なウィンドウを共有して相談を行う。実際には本システムと電話

や電子メールを併用して相談が行われる形態が効果的である。たとえば、まずAが電話でBに相談したいという意向を伝え、その後AのウィンドウをBと共有する手続きを取る。そして、電話で「このループ部分に横流が流れ、このタップを…」といった質問をする。このとき同時に「この…」を指示する画面上の対象を共有ポインターを使って指し示す。また、必要ならシミュレーションを実行してその系統状態変化を相手に示す。更に、必要ならば共有ホワイトボードを使って図解する。このような過程を繰り返しながら、共同的に問題解決が行われる。

(3)作業終了後、この過程で得られた有益な知見や参考になるモデルなどは、他者が参照できるように必要に応じて共有データとして蓄積したり、モデル間にリンクを張って知識の構造化を行い、他者へ知識の伝承を図っていく。つまり、図9のデータ管理画面の共有ビュー(Shared View)にモデルを登録したり、シミュレーション画面左上に見えるリンク付きテキストを作成して、知識の構造化を図る。

4.2) 評価

電力系統に関しては初心者である2人の試用を通して本システムを評価した。以下に指摘された点を列挙する。なお、この評価は同期分散型環境下で行われている。非同期分散型環境、例えば使用者の世代交代を通じた知識の伝承や変遷の様子などの評価については今後時間をかけて行っていきたいと考えている。

(1)満足な点

- ・モデルの作成やデータの管理が容易である。
- ・シミュレーション結果の把握や変更がしやすい。
- ・画面共有機能はゲーム感覚で操作できて楽しい。

(2)問題点

- ・共有画面のレスポンスが遅くなる場合がある。転送速度の高いネットワーク構成が必要である。
- ・相手の状況を十分に把握することが困難で、コミュニケーションがムズにいかないときがある。相手の状況を示すカメラ映像などが必要である。
- ・ホワイトボードへのフリーハンドな書き込みはマウスよりペン型入力装置がベターである。
- ・音声や動画を知識として蓄積する機能がほしい。

ここで指摘された問題点は、主にネットワークの高速化とシステムのマルチメディア化の必要性を示している。筆者らは本システムのネットワークを光ケーブルにし、またマルチメディア化のために動画再生ビデオボードを追加することによって、これらの問題の大半を解消できると考えているが、その具体的なハードウェア拡張は今後の課題としたい。

5. おわりに

本論では共同作業による知識の生成、蓄積、伝承を支援する新しいタイプの教育支援システムを提案し、電力系統の問題解決の場面に適用した例を用いてその有効性を検討した。また、簡単な評価を行って今後解決すべき問題点に

についても述べた。筆者らは情報スーパーハイウエー構想に見られるような大規模な知識の交換や共有を行うシステムが電力系統の教育の分野のみならず、様々な場面で必要になってくると考えている。今後は本システムを実際の教育現場へ適用して、その効果を実証的に評価すると共に適用分野の拡大も図っていききたいと考えている。最後に、本研究は筆者らの2人が三菱電機(株)在職中に行った研究成果をベースにしている。関係各位に深謝いたします。

(平成7年3月30日受付, 同年6月19日再受付)

文 献

- (1)特集号「知識の共有と再利用」人工知能学会, 9, 1 (平6-1)
- (2)吉澤純一・武藤昭一・田中秀雄・植田孝夫・西田正吾 坂口敏明:「教育的インタフェースを備えた保守教育支援システム」情処学論, 29, 638~646 (1988-7)
- (3)吉澤純一・武藤昭一・植田孝夫・西田正吾:「ハイパシミュレーションによる系統現象の理解支援環境」電学論B, 111, 1103~1111 (平3-10)
- (4)石井裕:「グループウェア技術の研究動向」情報処理 Vol. 30, 1502~1508 (1989-12)
- (5)I. Greif (Ed.): "Computer-Supported Cooperative Work" Morgan Kaufmann Publishers (1988)
- (6)J. Brown, A. Collins, P. Duguid: "Situated Cognition and the Culture of Learning" Educational Researcher, 18, 32-42 (1989-1)

- (7)日本認知科学会編:「認知科学の発展・分散認知」講談社, Vol. 7 (1994-3)
- (8)稲垣佳世子・波多野諄余夫:「人はいかに学ぶか」中公新書 (1989)
- (9)T. ウィノグラード・F. フローレス(平賀譲訳):「コンピュータと認知を理解する」産業図書 (1989)
- (10)D. Arnold, R. Day, D. Duce, J. Gallop, D. Sutcliffe (Eds) "Distributed Window Systems-Theory and Practice" Proceeding of an International Workshop on Distributed Window Systems, Eurographics (1991-12)

田中 秀雄 平成7年B部門誌7月号参照

西田 正吾 平成7年B部門誌7月号参照

植田 孝夫 (正員) 1954年6月2日生まれ。1983年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程単位取得退学。同年4月三菱電機(株)入社。同社中央研究所を経て、1995年4月北見工業大学電気電子工学科助教授。電力系統のオブジェクト指向システム設計や情報メディア技術応用に関する研究開発に従事。工学博士。1993年電気学会論文賞。ACM, IEEE-CS, 情報処理学会会員。