電力系統平常時操作へのマルチエージェント技術の適用

正員 永田 武 (広島工大)
 学生員 中山 博之 (広島工大)
 学生員 中村 頼子 (広島工大)
 正員 歌谷 昌弘 (広島国際学院大)
 正員 佐々木 博司 (広島大)

A Multi-Agent Approach to Power System Normal Operation

Takeshi Nagata, Member (Hiroshima Institute of Technology), Hiroyuki Nakamura, Student-member (Hiroshima Institute of Technology), Yoriko Nakamura, Student-member (Hiroshima Institute of Technology), Masahiro Utatani, Member (Hiroshima Kokusai Gakuin University), Hiroshi Sasaki (Hiroshima University)

Recently, the electric utility industry in the whole world has been facing pressure to be deregulated or restructured in order to increase its efficiency, to reduce operational cost or to give consumers more alternatives. For this aspect, a great deal more research is needed to achieve better intelligent knowledge process. The present centralized system for the power system control, operation and planning must be remodeled to cope with these situations. With the promotion for the deregulation of the electric power system, the definition of the objective function for the optimization problem such as outage work operation for electric power system is becoming critical. Currently, agents are focus of intense on many sub-fields of computer science and artificial intelligence. Agents are being used in an increasingly wide variety of applications.

In this paper, we developed a power system normal operation application by multi-agent architecture. Our multi-agent system consists of several Facilitator-agents, Equipment-agents and Switch-box-agents. Facilitator-agent acts as a manager for negotiation process between agents. Equipment-agent corresponds to the element of the electric power system, such as bus, transformer and transmission line, while Switch-box-agent is the pseudo object which consists of neighboring current breakers and disconnecting switches. The proposed system realizes the appropriate switching operations by interacting with corresponding agents. The proposed approach is applied to a simple network, and the results show that the proposed multi-agent system is an efficient decentralized approach for solving power system normal operations.

キーワード：マルチエージェントシステム，電力系統，平常時操作，分散型システム
 keywords: multi-agent system, power system, normal operation, decentralized system

1. まえがき

電力系統は、しゃ断器や断路器および変圧器や母線、調相設備などの変電設備と、送電線、開閉塔などの送電設備から構成されている。これらの設備は、保守作業のために停止したり、停止したものを作業終了後、使用する必要がある。これらの停止の対象となる停止対象設備の停止および使用の操作は、複数の手順ステップからなる操作指令手順表により実施されている。このような操作指令手順は、運用者が計算機と対話して作成する“手動作成方式”，標準的な操作手順をあらかじめファイルに保存しておき必要に応じて呼び出し修正を加える“ファイル作成方式”，運用者の手順作成に関する複数のノウハウを手続き型言語の形に表現して操作指令手順を自動合成する“論理生成方式^(1,2)”，さらに、論理生成方式を発展させて知識処理言語で記述した“知識ベース方式（またはエキスパートシステム）⁽³⁻⁹⁾”などを用いて作成

されている。

しかしながら、昨今の規制緩和による電力システムを取り巻く環境の急激な変化により、平常時操作においても他の業務と同様に、市場参入者を含む関係者全員の協調が必要となることが予想される。このような状況では、情報の不確実性が増大するため、コントロールセンターに全ての情報を収集し、センター内の計算機を用いた集中処理では平常時操作全般を適切にコントロールするのが難しくなることが予想される。すなわち、電力系統設備を所有する主体間での局所的な相互作用を繰り返すことで、電力系統全体として望ましい平常時操作が実施されるような分散型システムへ移行せざるを得ないと考えられる。また、著者の一人が電力系統用計算機システムを設計・開発した経験によると、電力系統用計算機システムのアプリケーションソフトウェアの中で、平常時操作に関するソフトウェアの量は、他の業務に比較して極めて大きく全体の60%以上を占めるに至っている。この

ようなことから、規制緩和の進展に伴って平常時操作の関連ソフトウェアが受ける影響は多大なものになることが予想されるが、これまでにこのようなテーマに関する研究は実施されていない。

本論文の目的は、電力系統の平常時操作へマルチエージェント技術を適用し、新しい電力系統の環境における分散型平常時操作システムの枠組みを提案することである。エージェントシステムのモデル化においては、各エージェントを他のエージェントとどのように対話させ、自己の効用（停止対象設備を指定の時間帯で停止し、作業終了後使用する）のみでなく、電力システム全体の効用（系統のセキュリティを維持する）をも最大化させることが重要である。

本提案方式の特徴を以下に示す。

- (1) 効率的な分散処理を実現するために、上層のエージェントと下層のエージェントからなる2階層システムとして実現している。すなわち、予定作業停止の要求が下層のエージェントから発行されると、まず下層のエージェント間の協調動作により問題解決を図ろうとする。そして、問題が複雑で問題解決ができない場合には、上層のエージェントに問題解決を依頼する。依頼された上層のエージェントは、必要に応じ隣接電気所との協調動作により問題を解決しようとする動作を繰り返す。このように、予定作業停止の要求の発生個所から、徐々に連携を拡大しながら問題解決を図るという設計方針となっている。
- (2) 予定作業停止の対象となる設備が、本提案システムで扱う最小粒度となるため、それらを下層エージェントとして定義する。具体的には、“設備エージェント”と、設備エージェント間の接続状態を表す“接続ボックスエージェント”を定義している。接続ボックスエージェントは、内部状態として開閉器のON/OFF状態を保有している多端子の仮想的な箱として考えることができる。
- (3) 設備エージェント間の協調動作を促進させるために“ファシリテータエージェント”を上層エージェントとして定義している。まず、電気所内設備の予定作業停止のような比較的容易な操作の場合には、設備エージェントがファシリテータエージェントを介して、同一電気所内の接続ボックスエージェントとの局所的な協調動作を行い問題解決が図られる。また、送電線の予定作業停止のように複数の電気所が関係する複雑な操作の場合には、送電線に対応する設備エージェントがファシリテータエージェントを介して、関連している複数電気所のファシリテータエージェントと連携して問題解決が図られる。

本マルチエージェントシステムを、JAVA言語を用いて構築し、複数の電気所が関係する送電線停止が実現できるようなモデルシステムに適用すると、440MHzのワークステ

ーションで2分程度で解を得ることができる。

2. 平常時操作の概要

〈2.1〉平常時操作の考え方 一般に、平常時操作を行う場合には、電力系統の安定供給を維持しながら安全に操作を実施する必要性から、あらかじめ操作当日の系統状態を想定して操作指令手順を作成しておき、その手順の実行可能性を検証した上で、操作当日に操作が実行されている。操作指令手順作成時の基本的な考え方を以下に示す。

- (1) 停電範囲を最小化する
- (2) 停電時間を最短にする
- (3) 操作の安全を確保する

したがって、前述の平常時操作の操作指令手順の作成方式は、これらの目的を満足するように系統運用者により立案されている。

〈2.2〉平常時操作における電力系統の表現方法 電力系統の表現方法は、その粒度が対応する業務により大きく異なっている。平常時操作では、しゃ断器や断路器のレベルまで考慮しなければならないため、運用計算や運用計画などの業務に比べて、その粒度が極めて小さくなっている。

以下、平常時操作で用いられる電力系統表現を簡単な例をもとに説明する。図1(a)は、送電線の停止操作に関連する変電所、配電用変電所、そして特高需要家からなるモデル系統である。一般に、平常時操作では系統内の要素を抽象化した“論理設備”と“論理開閉器”を用いた表現方法が採用されている⁽²⁾。電力系統を論理設備と論理開閉器で表現するという考え方は、前述の論理生成方式の開発時に検討されたものであり、以後開発された電力系統用計算機システムに広く採用されている。この考え方は、後述する提案方式のマルチエージェントによる平常時操作の基礎となっているため、その概要を説明しておく。図1(b)は、同図(a)に対応する論理設備と論理開閉器を用いた表現である。この例では、13個の論理設備と20個の論理開閉器を用いて表現されている。直列に接続している開閉器群を論理開閉器とし、変電所の甲乙母線からの送電線引込み部分に仮想的な論理設備を定義していることが特徴である。このような表現方法を用いると、論理設備が必ず論理開閉器を介してのみ接続するのでソフトウェア処理が簡潔になる。

〈2.3〉平常時操作手順の作成 平常時操作手順は、停電範囲と停電時間の最小化、および安全の確保の目的を達成するように作成されなければならない。図1のA-B送電線1Lの予定作業停止の件名（同図の網掛けをした送電線の予定作業停止）を例にして、どのように平常時操作手順が作成されるかを説明する。

一般に、このような作業の計画は、電力系統内の各所が要求元になりコントロールセンタに集められ、作業時の供給信頼度を低下させないように、他の件名との調整の結果、作業予定日時が決定される。このような複数の件名を調整するのが“停止計画（または、予定作業停止計画）”と呼ばれる業務であり、これまでに仮説推論を用いた方法などが提案されている⁽¹⁰⁾。本例の停止件名を表1に示す。

図1 平常時操作における電力系統の表現方法

表1 停止件名の例

Table 1 An example of line operation

停止対象設備	停止時間	終了時間	作業目的
A-B 送電線 1L	8:00	19:00	予定作業停止

まず、図1を参照すると、A-B送電線1Lの電源側はA変電所であり、当該送電線より受電している電気所は、C配電用変電所とE特高需要家であることがわかる。したがって、これらの電気所は送電線が停止する前に、A-B送電線2L側から受電するように切替えておけば、作業中の停電が発生しないことになる。通常、停止側手順の作成時には、電源側から遠方の特高需要家、配電用変電所、

変電所の順番で操作が実施されるので、このケースの開閉器レベルの手順は、表2のようになる。通常、“作業停止”などの目的指令用語を用いた操作手順とするのが一般的であるが、ここでは開閉器レベルのON/OFFの手順で表してある（接地用開閉器の操作は省略）。同表は停止側の手順のみを表しているが、使用側の手順も停止側操作の逆順として同様に作成される。

表2 操作指令手順の例

Table 2 An example of operation sequence list

No	所名	設備名称	開閉器名称	操作内容
1	E特	A-B送電線2L	LS21	ON
2	E特	A-B送電線2L	CB21	ON
3	E特	A-B送電線1L	CB11	OFF
4	E特	A-B送電線1L	LS11	OFF
5	E特	A-B送電線1L	LS11	操作ロック
6	D特	A-B送電線1L	LS11	開放確認
7	D特	A-B送電線1L	LS11	操作ロック
8	C配	A-B送電線2L	LS21	ON
9	C配	A-B送電線2L	LS22	ON
10	C配	A-B送電線2L	CB21	ON
11	C配	A-B送電線1L	CB11	OFF
12	C配	A-B送電線1L	LS12	OFF
13	C配	A-B送電線1L	LS11	OFF
14	B変	A-B送電線1L		運用停止
15	A変	A-B送電線1L	CB01	OFF
16	A変	A-B送電線1L	LS011	OFF
17		A-B送電線1L		作業開始
.	.	.	.	.

3. 平常時操作マルチエージェントシステム

〈3.1〉平常時操作マルチエージェントシステムの概要

ここでは、前章で述べた平常時操作をマルチエージェントを用いて実現する方法について説明する。図2に提案する平常時操作マルチエージェントシステムを示す。同図に示すように、2階層のエージェントから構成し、下層には“設備エージェント”および“接続ボックスエージェント”を、上層には“ファシリテータエージェント”

図2 平常時操作マルチエージェントシステム

Fig.2 The Proposed Multi-agent Normal Operation System

を実装している。下層の設備エージェントから予定作業停止要求がファシリテータエージェントに対して発行されると、ファシリテータエージェントは必要に応じて、設備エージェントや他のファシリテータエージェントと協調動作を行いながら問題解決を図って行く。例えば、“送電線”および“送電線の開閉器”以外の要素は、通常、当該電気所内エージェントとのインタラクションのみで平常時操作が完了するので、要求元エージェントの上層のファシリテータエージェントの管理のもとに、下層のエージェント群による平常時操作が実施される。一方、“送電線”および“送電線の開閉器”の場合には、停電範囲最小化の目的のために連係する複数の電気所の操作が必要になるため、要求元エージェントの上層のファシリテータエージェントは、連係する電気所に対応するファシリテータエージェントに操作の依頼をすることにより協調動作の範囲を拡大していく。そして、依頼を受けた各電気所のファシリテータエージェントは、自らの管理のもとに、下層のエージェント群による平常時操作を実施させる。このような協調動作の拡大は、必要に応じて順次繰り返すことができる。

〈3.2〉ファシリテータエージェント ファシリテータエージェントは、自身の下層に存在する設備エージェント間の協調を促進する機能と、同一層にある他のファシリテータエージェント間の協調を促進する機能を有している。まず、電気所内で問題解決が図られる場合には、ファシリテータエージェントの管理のもとに、自身の下層の接続ボックスエージェントが協調し操作を完了させる。例えば、変圧器の予定作業停止のような件名がこの機能に対応する。次に、送電線の予定作業停止のように問題解決に複数の電気所が関連する場合には、ファシリテータエージェントは操作の優先順位に従って同一層の他のファシリテータエージェントに操作の依頼を行いながら問題の解決を図る。

〈3.3〉設備エージェント 設備エージェントは、予定作業停止の要求元になるエージェントであり、停止計画により作業日時が決定された停止対象設備に対応するものである。本システムでは、簡単化のために設備エージェントとして、母線 (*BusAG*)、変圧器 (*TrAG*)、調相設備 (*ScAG*) および送電線 (*LineAG*) のみを扱っている。内部データとして、現在状態 {使用中, 運用停止中, 作業中, 事故中}, 前回作業日時, および使用継続時間を保有させている。したがって、将来的には、各設備エージェントが使用継続時間などのデータから作業停止要求を自律的に発行するような機能も組み込むことが可能である。

〈3.4〉接続ボックスエージェント 接続ボックスエージェ

ント (*BoxAG*) は、設備エージェント間の接続状態を表現するために、一つまたは複数の論理開閉器に対応するものである。平常時操作における開閉器の ON/OFF 操作は、当該エージェントの内部状態として定義される個別の開閉器の開閉状態 {ON, OFF} を変更することに対応する。また、接続ボックスエージェント内のしゃ断器は停止対象設備にも成り得るため、設備エージェントと同様な内部データを保有させている。

〈3.5〉メッセージオブジェクトの説明 マルチエージェントシステムでは、エージェント間通信が重要な役割をするので、以下その内容について説明する。本提案システムでは図3のような“XMLメッセージオブジェクト”を用いている。XML (eXtensible Markup Language) は、情報の格納と管理のためのプロトコルであり、インターネットを用いた情報交換の手段として最近急速に受け入れられている方法である。同図に示すように、XMLメッセージオブジェクトは、遂行動詞、送信側 AG 名、受信側 AG 名、内容などから構成されている。本システムで使用している主要な遂行動詞として、*request* (要求), *agree* (同意), *propose* (提案), *accept-proposal* (提案受理), *finish* (終了) がある。図3は、遂行動詞が *request* の一例である。

```
<!DOCTYPE request SYSTEM "request.dtd">
<request>  ← 遂行動詞
  <sender>LineAG1</sender>  ← 送信側 AG 名
  <receiver>AB-LineAG</receiver>  ← 受信側 AG 名
  <content>  ← 内容
    <action>act1</action>
    <actor> null </actor>
    <args>null</args>
  </content>
  <protocol>Request-inform</protocol>  ← プロトコル
  <reply-with>MSG-ID:1</reply-with>  ← メッセージ ID
</request>
1 行目: XML の種類
2 行目: 遂行動詞
3 行目: 送信側 AG 名
4 行目: 受信側 AG 名
5~9 行目: 内容 (遂行動詞毎に構成が変わる部分)
10 行目: メッセージの従うプロトコル
11 行目: 対話として返答する場合につけてもらうためのメッセージ ID
```

図3 XMLメッセージオブジェクト

Fig. 3 XML Message Object

〈3.6〉モデルシステムでの提案方式の説明 上記の方法の理解を容易にするために、図4に示した簡単なモデルを用いて提案方法を説明する。同図は、図1に対応したものであり、*LineAG1* が作業停止の要求元エージェントである。

長丸で示した A-AG~E-AG は、LineAG1 に接続している電気所に対応したファシリテータエージェントを示す。また、四角で示したものが設備エージェント、黒色で示したものが接続ボックスエージェントである。ここで、D-AG は“停電切替方式”、E-AG は“ループ切替方式”の特高需要家に対応するファシリテータエージェントであると仮定している。以下同図の①~⑫の番号に従って、操作の過程を説明する。

- ①：送電線エージェント (LineAG1) から、上層のファシリテータエージェント (AB-LineAG) へ作業停止要求のメッセージが送出される。
- ②：作業停止要求のメッセージを受けた AB-LineAG は、LineAG1 と接続している電気所に作業停止要求メッセージを送出する。前述のように、電源側から遠方の特高需要家、配電用変電所、変電所の順番で操作が実施されるので、まず、特高需要家のファシリテータエージェント E-AG に作業停止要求メッセージを送出する。そして、要求を受信した E-AG は、作業中の停電を回避するように所内の開閉器の ON/OFF 操作を行うために、接続ボックスエージェントとの協調動作を実施する。この処理過程については、図 5 を用いて説明する。以下の説明は、同図の(1)~(6)の番号に対応している。
- (1) LineAG1 の作業停止要求を受信した E-AG は、接続ボックスエージェント E-BoxAG1 に現在の開閉器状態を問い合わせる。
- (2) E-BoxAG1 は、現在の開閉器状態（この場合は ON 状態）を E-GA に返答する。
- (3) E-GA は、ループ切替方式なので、特高の受電母線 E-BusAG が停電しないように受電回線の切替えを実施するため、E-BoxAG2 に開閉器状態を ON 状態に変更するメッセージを送出する。
- (4) E-BoxAG2 は、開閉器の状態を ON 状態に変更し、変更が完了した旨のメッセージを通知する。この時点において、E 特高需要家はループ受電の状態になっている。このような接続ボックスエージェントの ON/OFF 処理が、従来の平常時操作における指令実行に対応している。このように、本方式ではエージェントの局所的な相互作用により平常時操作が実行されるため、従来の集中型システムの指令実行とはその設計思想が全く異なっていることに注目されたい。
- (5) E-GA は、1 回線側の開閉器を OFF にするため、E-BoxAG1 に開閉器状態を OFF 状態に変更するメッセージを送出する。
- (6) E-BoxAG1 は、開閉器の状態を OFF 状態に変更し、変更が完了した旨のメッセージを E-GA へ通知する。

以上の(1)~(6)の処理により、E 特高需要家は、作業中の停電が回避されることになる。

③：E-AG は、E 特高需要家の一連の操作が終了した旨のメッセージを AB-LineAG に通知する。

④~⑪：同様な処理が、E 特高需要家以外の電気所に対しても実施される。この際、AB-LineAG が中心となり、各電気所に対応するエージェントとの処理を実行する。

⑫：以上で、停止対象設備に対応する LineAG1 に接続していた開閉器が全て OFF 状態に変更されたので、LineAG1 に作業開始メッセージを送出する。

作業終了後の使用操作についても同様に処理されるが、ここでは紙面の都合で説明を省略する。

図 4 エージェント間交渉の例

Fig. 4 An example of negotiation process between agents

図 5 特別高圧需要家での開閉操作

Fig. 5 Switching operation at high-voltage consumer

4. シミュレーション結果

<4.1>シミュレーション条件 本提案システムの動作を確認するために、Java 言語 (JDK1.2) を用いて実装し、図 1 に示したモデルシステムを用いてシミュレーションを実施した。提案システムは、分散配置されたサーバ上にエージェントを配置することを想定しているが、テストを簡単にするために同一ワークステーション (東芝 AS7000/U10, 440MHz) に複数のエージェントを配置した。以下では、停止件名や初期系統の開閉状態を変更して実施したシミュレーションの中から 2 つのケースについて説明する。

4.2 シミュレーション結果

(ケース1) このケースは、表1で示した単一の送電線予定作業停止の件名に対応するものである。図6は、操作過程をモニターするプログラムからの画面出力結果であり、停止側の操作が完了し、A-B送電線1Lが作業開始状態になった時点の系統構成が表示されている。期待されたように、C配電用変電所とE特高需要家は、送電線が停止する前に、A-B送電線2L側から受電するように切替えられ停電が発生していないことがわかる。図7は、操作手順をモニターするプログラムからの画面出力である。本ケースでの操作指令手順は、33ステップ(停止側17、使用側16)であり、処理時間は104秒であった。

図6 平常時操作モニター画面(ケース1)

Fig. 6 Monitor Display of Normal Operations (Case 1)

操作指令手順				
3	E特	A-B送電線1L	CB11	OFF
4	E特	A-B送電線1L	LS11	OFF
5	E特	A-B送電線1L	LS11	操作ロック
6	D特	A-B送電線1L	LS11	開放確認
7	D特	A-B送電線1L	LS11	操作ロック
8	C変	A-B送電線2L	LS21	ON
9	C変	A-B送電線2L	LS22	ON
10	C変	A-B送電線2L	CB21	ON
11	C変	A-B送電線1L	CB11	OFF
12	C変	A-B送電線1L	LS11	OFF
13	C変	A-B送電線1L	LS12	OFF
14	B変	A-B送電線1L		運用停止
15	A変	A-B送電線1L	CB01	OFF
16	A変	A-B送電線1L	LS011	OFF
17		A-B送電線1L		作業開始

図7 平常時操作手順モニター画面(ケース1)

Fig. 7 Monitor Display of Normal Operation Procedure (Case 1)

(ケース2) このケースは、表3に示すように2つの件名が互いに関連しあう複雑なケースであり、現存の電力系統用計算機システムの操作指令手順作成処理においても取り扱いの難しいものである。すなわち、しゃ断器の停止・終了時間が、送電線の停止・終了時間の中に含まれているため、しゃ断器の停止作業が完了したとしても使用状態(ON状態)には出来ず、運用停止状態で送電線の作業の完了を待ち合わせる必要があるためである。図8は、送電線としゃ断器の両者が作業停止の状態から、しゃ断器のみが作業終了状態になった時点の操作手順のモニター画面である。前述のように、しゃ断器CB01の内部状態が使用状態にはならず、作業中から運用停止中に変更されている。同図の20番目のステップに表示されているように、しゃ断器CB01は作業終了後、復旧状態に状態を変更されていることがわかる。これらの協調動作は、上層レベルのファシリテータエージェント間で実現された結果である。本ケースでの操作指令手順は、36ステップ(停止側20、使用側16)であり、処理時間は110秒であった。

表3 複数の停止件名の例

Table 3 An example of multiple operations

停止対象設備	停止時間	終了時間	作業目的
A-B送電線1L	8:00	19:00	予定作業停止
A変 CB01	10:00	15:00	予定作業停止

操作指令手順				
6	D特	A-B送電線1L	LS11	開放確認
7	D特	A-B送電線1L	LS11	操作ロック
8	C変	A-B送電線2L	LS21	ON
9	C変	A-B送電線2L	LS22	ON
10	C変	A-B送電線2L	CB21	ON
11	C変	A-B送電線1L	CB11	OFF
12	C変	A-B送電線1L	LS11	OFF
13	C変	A-B送電線1L	LS12	OFF
14	B変	A-B送電線1L		運用停止
15	A変	A-B送電線1L	CB01	OFF
16	A変	A-B送電線1L	LS011	OFF
17		A-B送電線1L		作業開始
18		A-B送電線1L	CB01	作業開始
19		A-B送電線1L	CB01	作業終了
20		A-B送電線1L	CB01	復旧

図8 平常時操作手順モニター画面(ケース2)

Fig. 8 Monitor Display of Normal Operation Procedure (Case 2)

5. あとがき

本論文では、将来の分散型平常時操作システムを検討するための第1段階として、平常時操作時の意志決定プロセスをマルチエージェントでモデル化し、実装する一つの方法を提案した。予定作業停止の対象となる設備エージェントと接続ボックスエージェントを下層部のエージェントとし、下層部のエージェントの協調動作を促進させるファシリテータエージェントを上層部のエージェントとする2階層システムとして実現した。下層部のエージェントを中心とする局所的な協調動作と、上層のエージェント間の協調動作により、柔軟な処理が実現できることが確認された。特に、複数の停止件名の関連し合う複雑な場合においても、停止件名間の協調のとれた平常時操作が実現できている。

本研究では、停止計画の結果として作業日時の確定した件名に対して、その平常時操作をマルチエージェントで実装させる方法に焦点を当てたが、その前提となる停止計画自体を自律分散型システムで実現する方法の検討が必要である。規制緩和の進展にともなう、今後ますます従来の集中型システムから分散型システムへの見直しが加速されると考えられるが、本論文は、そのような分散型システムの実現方法に対する貢献が期待される。

(平成13年12月25日受付、平成14年5月7日再受付)

文 献

- (1) 鈴木, 尾崎, 幅: 「定常時系統自動操作推論の開発」, 電学誌, 90, 1825-1831, 1979
- (2) 永田, 奥寺, 北口, 武田: 「平常時操作指令手順の論理生成方式」, 電学論B, Vol. 109, No. 3, 97-102, 1989
- (3) 沖, 西森, 民辻, 小池, 倉岡, 山本: 「作業停電計画システムの開発研究」, 電気学会電力技術研資, PE-89-20, 31-39, 1989
- (4) 長谷川, 横井, 田中, 北村: 「エキスパート手法を用いた電力系統操作支援システムの開発」, 電気学会電力技術研資, PE-90-82, 141-150, 1990
- (5) 高野, 松本, 坂口: 「知識ベースシステムの動的検証法」, 電学論B, Vol. 111, No. 1, 125-132, 1991
- (6) 白崎, 遠藤, 浅利, 菅原, 小西, 宇都宮: 「電力系統作業停止計画支援システムの開発」, PE-91-125, 37-45, 1991
- (7) 幅, 前田, 渡辺, 福井, 野本: 「作業時操作手順自動作成システム」, 電学論B, Vol. 113, No. 2, 159-167, 1993
- (8) 永田, 佐々木, 北川, 杉原: 「パソコンによる平常時操作支援エキスパートシステム」, 電学論B, Vol. 114, No. 7/8, 807-813, 1994
- (9) 有田, 石野, 功刀, 和田, 島田: 「総合制御所における電力系統運用支援エキスパートシステムの開発」, 電学論B, Vol. 110, No. 6, 504-510, 1990
- (10) 川原, 山本, 佐々木, 久保川, 朝原: 「仮説推論を用いた停電作業スケジューリングに関する一考察」, 電学論B, Vol. 118, No. 4, 460-466, 1998

永田 武

(正員) 1954年9月28日生。1980年3月広島大学大学院博士課程前期修了。同年4月(株)東芝入社, 国内外の電力系統制御計算機システムの開発に従事。1989年松江工業高等専門学校講師, 1991年助教授, 1997年広島工業大学助教授, 2001年同教授, 現在に至る。特種情報処理技術者, 博士(工学)。システム制御情報学会, 電気設備学会, IEEE会員。

中山博之

(学生員) 1976年6月18日生。1998年4月広島工業大学工学部電気工学科入学, 2002年4月同大学大学院工学研究科博士課程前期電子専攻入学, 現在在学中。マルチエージェントを用いた分散型協調問題解決システムに関する研究に従事。

中村頼子

(学生員) 1976年4月18日生。1998年4月広島工業大学工学部電気工学科入学, 2002年4月同大学大学院工学研究科博士課程前期電子専攻入学, 現在在学中。マルチエージェントを用いた分散型協調問題解決システムに関する研究に従事。

歌谷昌弘

(正員) 1967年4月4日生。1993年3月広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年4月博士課程後期に進学。1996年広島電機大学(現, 広島国際学院大学)電気工学科講師, 現在に至る。博士(工学)。主として, 電力系統解析プログラムの操作支援インターフェース等の研究に従事。情報処理学会, IEEE会員。

佐々木博司

(正員) 1941年3月10日生。昭和43年3月早稲田大学工学研究科博士課程(電気工学専攻)修了。同年4月広島大学工学部電気工学科講師, 昭和55年10月第二類(電気系)助教授, 平成元年11月同教授, 平成12年4月広島大学工学部長, 現在に至る。工学博士。電力系統関連のさまざまな研究に従事。IEEE, CIGRE, 日本太陽エネルギー学会, 情報処理, 他会員。