

マルチエージェントによる 電力系統故障復旧方式の提案

A proposal of multi agent based fault restoration method in electric power system

伊賀上 大輔

Daisuke Igaue

県立広島大学総合学術研究科経営情報学専攻

Email: q122003jk @ pu-hiroshima.ac.jp

永田 武

Takeshi Nagata

広島工業大学情報学部情報工学科

Email: nagata @ cc.it-hiroshima.ac.jp

Abstract—Recently, the parallel distributed fault detecting method is required in electric power system, because the electric power network becomes complex connection among transformer substations. This paper describes the multi agent based fault restoration method to collect various data and diagnose the fault through the error events.

I. はじめに

今日の電力系統はエネルギー問題、環境問題、規制緩和、またスマートグリッドの電力系統への導入の検討など^[1]大きな変革期を迎えている。これらの大規模化、複雑化が今後ますます進行することが予想される電力系統に対して従来の集中型システムでの制御することは、信頼性の低下や運用者の負担増大などの懸念がある。この解決策として従来の集中型システムから分散型システムへの転換が必要であると思われる。また、分散型システムの構築手法の一つとして人工知能の分野での研究が進められているマルチエージェント技術に期待が集まっている^[2]。

本論文ではマルチエージェントを用いた自律分散型システムの実装方法を提案し、二重母線・二回線送電線の典型的な地方供給システムを模したモデル系統に適用しその効果を確認した。

II. エージェント

エージェントは、ある環境を知覚器 (sensors) で知覚し、ある環境に効果器 (effectors) を通じて行動 (actions) するといった計算科学上の抽象的な概念である^[3]。

A. マルチエージェントシステムの構成

マルチエージェントシステムでは、複数のエージェントが協調して問題解決に取り組む^[4]。電力系統のような大規模システムに関する問題を、エージェントを用いて解決する場合には、単一のエージェントよりも複数の単純な機能を持つエージェントが連携して解く方が効率的な場合が多い。

今回は、予め与えた電力系統の定義やエージェント間の相関などの情報を元に、自らの持つ状態遷移に基づいて反動的に協調動作を行うマルチエージェントシステムについて開発を行った。

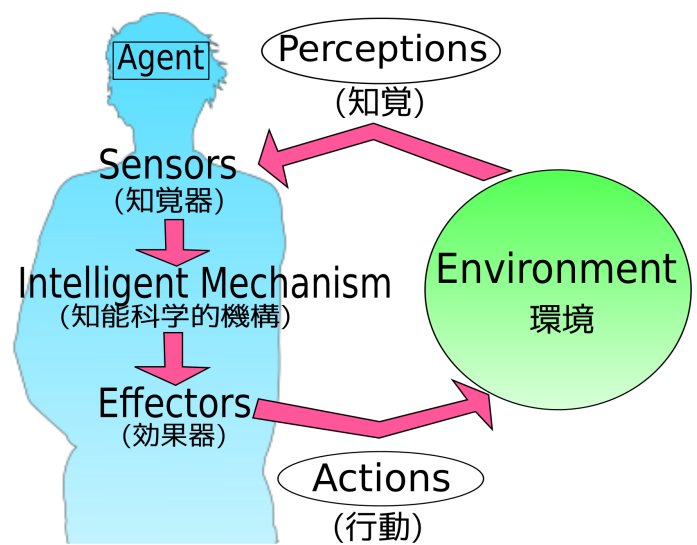


図 1. エージェントの基本構成

提案する分散型故障復旧マルチエージェントシステムの構成を図 1 に示す。本システムは故障復旧エージェントとして「系統変電所エージェント (SSAG)」、「配電変電所エージェント (HSAG)」、「送電線エージェント (LAG)」で構成されている。また、その他として電力系統を模擬し故障時のケーススタディを行うための「シミュレーションエージェント (SIM)」及び「故障設備設定エージェント (Fcase)」で構成されている。また、電力潮流は、変電所 03 の 1 次母線を基点に各変電所へ供給されている。放射状系統とするため、変電所 04、変電所 05、変電所 06 には、常時「開」状態にしているしゃ断器 (CB) がある^{[5][6]}。

B. 各故障復旧エージェントの説明

各エージェントは近傍の設備や保護リレー¹、遮断器 (CB)、断路器 (LS) の開閉状態、負荷値、電源端変電所か否かなど

¹保護区間内で故障が発生した際に、CB を「開」状態にして、停電波及を防ぐための装置である。母線保護リレー (BP)、変圧器保護リレー (TrP)、送電線保護リレー (LP) がある。

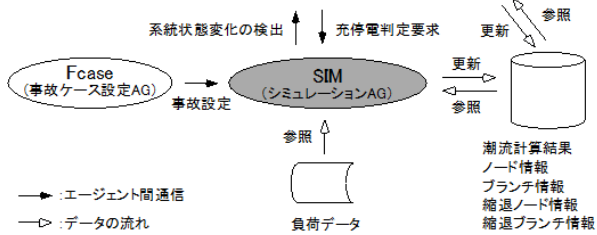
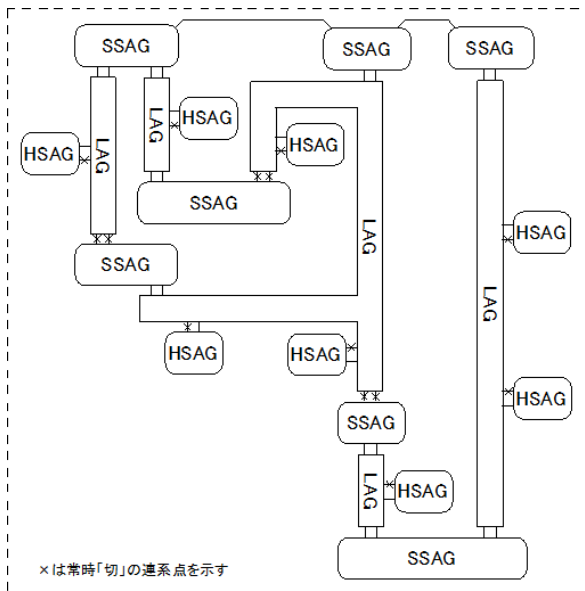


図 2. システム構成

の状態を定義した定義ファイルを読み込んでいる。

- 系統変電所エージェント (SSAG)
系統変電所エージェント (SSAG) は、各系統変電所において故障復旧操作を担当するエージェントである。各系統変電所には、故障復旧操作に関係する装置として、保護リレーと開閉器が存在する。保護リレーは、母線保護リレー (BP)、送電線保護リレー (LP)、変圧器保護リレー (TrP) を扱う。

このエージェントの主な役割は、

- 1) 保護リレー動作のみによる故障設備判定
- 2) 故障系統切り離し
- 3) 回線切り替えの指示や実施

である。

- 配電変電所エージェント (HSAG)
配電変電所エージェント (HSAG) は各配電変電所において故障復旧操作を行うエージェントである。各配電用変電所には、故障復旧操作に関係する装置として、保護リレーと開閉器 (CB, LS) が存在する。保護リレーは、変圧器保護リレー (TrP, TrP1, TrP2) を扱う。

このエージェントの主な役割は、

- 1) 所内加圧探査による故障判定
- 2) 故障設備切り離し
- 3) 受電切り替えや加圧探査後復旧

である。

- 送電線エージェント (LAG)
送電線エージェント (LAG) は、2 つ以上の変電所間を連系する送電線に対して仮想的に実装され、故障復旧操作を行うエージェントである。計測器は変電所に設置されているため、潮流データや保護リレー動作などの情報は SSAG, HSAG から受信しなければならない。しかし、LAG は連系する全ての SSAG, HSAG を管理できることを意味しており、本提案方式では、異常を検出した SSAG, HSAG からのメッセージを一時的に収集し、意思決定を行うエージェントとする。

このエージェントの主な役割は、

- 1) 要求・通知の収集および復旧方策の策定
- 2) 加圧探査時・復旧操作時の指示
- 3) 回線切り替え要求の透過処理

である。

C. 故障設備判定の方法

本システムでは故障の発生した設備を検出し系統から切り離すことで復旧を行う。

エージェントが故障設備を検出する方法として、本システムでは保護リレーの動作による検出方法と加圧探査による検出方法を用いる。

前者では保護リレー動作の情報のみで故障設備の特定が出来る場合で、保護リレー動作を検出した SSAG が保護区間の共通部分を故障設備と判断である場合はこの故障設備の検出処理を変電所エージェント単体で行う。

後者の加圧探査は、開閉器を一つずつ '閉' にすることで、故障設備の探索および停電設備の復旧を行う方法であり、1 つ '閉' 操作を行う毎に、電源端 SSAG と連携し、LP 動作の有無を確認する。所内加圧探査中に LP 動作があれば、直前に加圧した箇所が故障設備と確定できるので、その箇所の周りの CB または LS を '開' 操作して切り離す。前者の保護リレー動作の情報のみで故障設備の特定が出来なかった場合にこの方法に移行する。

D. 故障復旧操作

故障設備判定が完了すると、故障設備の切り離しが行われ、復旧操作が始まる。故障前に送電を行っていた回線上に故障設備が存在する場合は回線切り替えを行い、予備回線を用いて受電し復旧する。一方、故障前に送電を行っていた回線上に故障設備が存在しない場合は、故障前と同じ回線を用いて受電し復旧する。

III. シミュレーション

A. モデル系統

本提案システムの動作を確認するために、シミュレーションは実系統を基に設計された図 2 で示すモデル系統を用いた。この系統に対して、系統変電所に SSAG、配電用変電所に HSAG、送電線に LAG をそれぞれ配置し、マルチエージェントシステムによる電力系統の故障時復旧のケーススタディを行った。行ったケーススタディは、系統変電所の送電線 CB 故障と送電線 CB-LS 間故障、配電用変電所の予備回線側および受電回線側構内故障と送電線 CB-LS 間故障、そして送電線故障である。

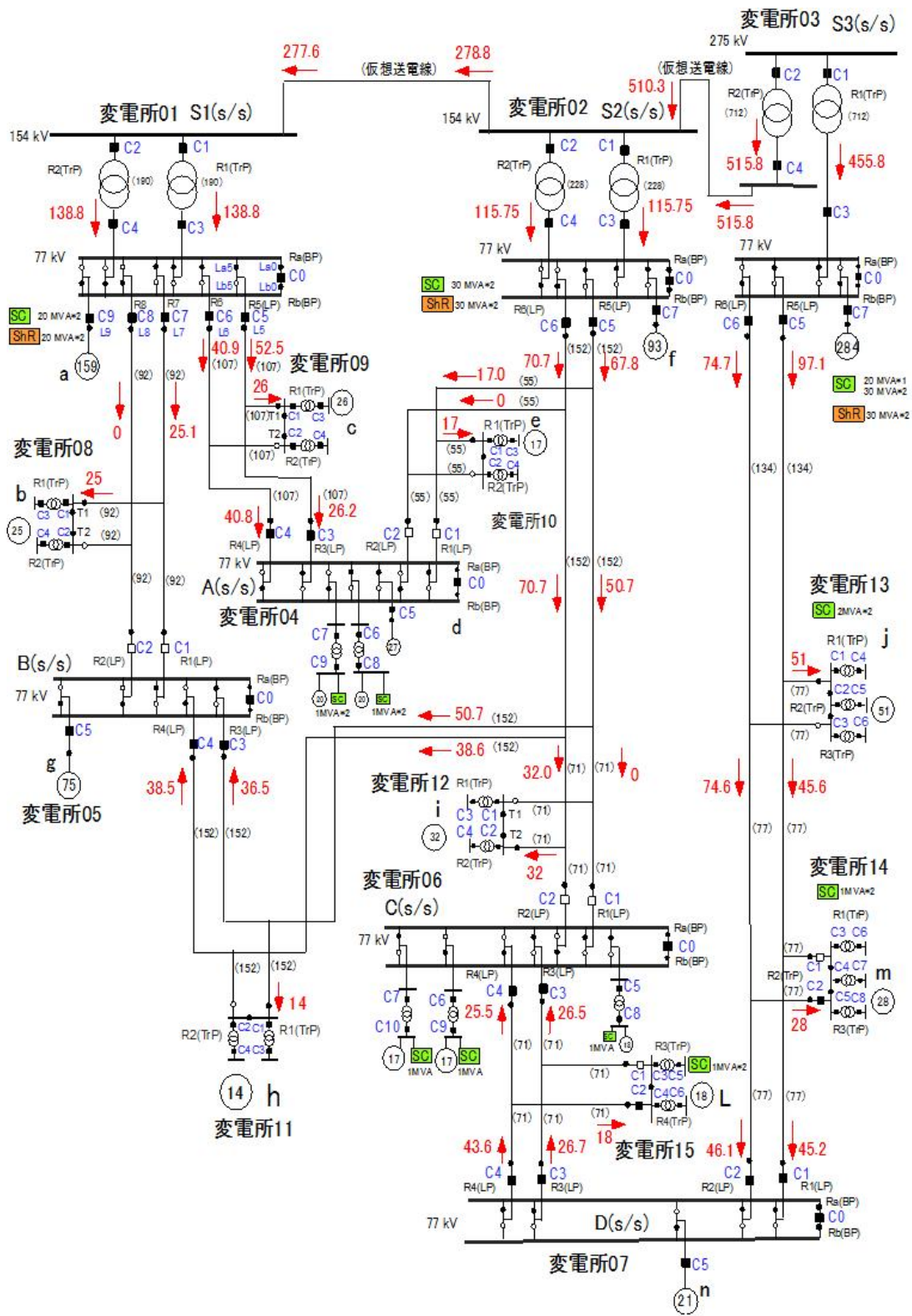


図 3. モデル系統

7ヶ所の系統変電所，8ヶ所の配電変電所，5本の二回線送電線，251個の開閉器，保護リレー，負荷，調相設備で構成される．また は遮断器， は断路器であり，黒く塗りつぶしているものは'閉'状態で白抜きは'開'状態であることを表している．また， の中に数字があるものは負荷 (MW) を表している．

B. シミュレーション結果

実施したシミュレーションの中から、変電所 11 の構内故障で加圧探査を用いる典型的な故障例について解説する。

1) 故障直後系統

故障発生により LAG03 の 1 号線と変電所 10 と 11 で供給障害が起こる。SSAG02 と SSAG05 は LP 動作と停電回線 CB のトリップを検出した。HSAG10 と HSAG11 はそれぞれ、供給支障量 17MW と 14MW を検出した。

2) 故障設備判定 1(加圧探査準備操作)

本故障ケースでは動作した保護リレーのみでの故障設備の特定ができないため、SSAG02 と SSAG05 は「加圧探査要求」を、HSAG10 と HSAG11 は供給支障量を添付した「停電発生報告」を LAG03 に送信する。これらを受信した LAG03 は近傍のエージェントである SSAG04～06、HSAG10 12 に「加圧準備操作指示」を送信する。加圧準備操作は、故障設備の疑いのある設備の周辺の開閉器を「開」状態にする操作を行う。このケースでは、SSAG04～SSAG06、HSAG12 の停電回線側の LS、と HSAG10、11 の 1 次母線 CB を「開」操作する。

3) 故障設備判定 2(加圧探査 1)

加圧準備操作完了後、LAG03 は SSAG02 に「送電線加圧探査指示」を送信し、SSAG02 はトリップ CB を「閉」状態にする。故障設備が発見されなかったため送電線故障でないことが確定し、供給支障の最大の HSAG10 から「加圧探査指示」を送信する。

4) 故障設備判定 3(加圧探査 2)

HSAG10 は、所内加圧探査の結果、故障設備が発見されなかったため、受電切り替えて負荷を復旧し、その旨を LAG03 に送信する。LAG03 は、次に供給支障量が多い HSAG11 に「加圧探査指示」を送信する。

5) 故障設備判定 4(加圧探査 3)

HSAG11 は、所内加圧探査中に故障設備を加圧してしまい、電源端の SSAG02 でトリップが発生するので、故障設備は HSAG11 の予備回線側構内故障であることが確定する。

6) 故障設備切り離し

故障設備が確定したので、直前に「閉」操作した LS を「開」操作して、故障設備の切り離しを行う。

7) 故障復旧操作

HSAG11 は SSAG02 にトリップ CB の「閉」操作の要請をして、自身の負荷を復旧した。本ケースは、予備回線側の構内故障であったため、負荷 7MW だけ復旧を行った。

本故障ケースでの開閉器操作回数は 23 回であった。また、復旧に要したメッセージ数は、33 であった。

表 1
ケーススタディの結果

No.	故障ケース	開閉器操作回数	メッセージ数	所要時間(秒)
1	系統変電所 送電線 CB 故障	3	8	4.5
2	配電変電所 構内故障 予備回線側	23	33	6.8
3	配電変電所 構内故障 受電回線側	10	22	6.3
4	送電線 故障	14	20	5.9
5	系統変電所 送電線 CB-LS 間故障	24	31	6.0
6	配電変電所 送電線 CB-LS 間故障	14	16	5.5
7	配電変電所 構内故障 予備回線側	15	22	5.9
8	配電変電所 構内故障 受電回線側	15	18	5.4

また、8 つのケーススタディで、故障の様相別に故障発生から復旧までの開閉器の操作回数と、エージェント間のメッセージ数と、所要時間(秒)を表 1 で示す。

IV. おわりに

本研究はマルチエージェント技術を用いた分散型故障復旧システムについて研究し、地方供給システムを模したモデルシステム上で設備故障シミュレーションを行い、その効果を確認した。シミュレーションの結果から、事故復旧マルチエージェントシステムは、分散的に配置された各エージェントの協調的な動作により柔軟に「故障設備の判定」と「故障設備切り離し」また「故障復旧操作」を健全システムの運転に支障をきたさない形で実現することができた。今後は実用化に向けて、多重事故など特異なケースにも対応するべく、復旧方法として受電システムの切り替えも視野に入れた、より効率的に復旧を行うアルゴリズムの開発などを検討し、より様々なケースについて模擬する必要がある。

謝辞

研究会で発表するにあたり、丁寧な御指導を賜りました県立広島大学経営情報学部市村匠先生に深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 東京電力：「次世代送配電システム最適制御技術実証事業」の実施について、<http://www.tepco.co.jp/cc/press/10052103-j.html>
- [2] 熊野 照久：「電力システムにおけるインテリジェントシステム応用」、電学論 B, Vol.127, No.5, pp.605-608, 2007
- [3] 本位田 真一, 飯島 正, 大須賀 昭彦：「エージェント技術」, 共立出版, 1999
- [4] S. Russell and P. Norvig: "Artificial Intelligence", Pearson Educational International, 1995
- [5] 谷和拡「電力エネルギー供給信頼性向上のための自律エージェントに関する研究」広島工業大学大学院工学系系研究科修士論文, 2009
- [6] 福永晋之介：「電力ネットワークの分散型事故復旧に関する研究」広島工業大学情報学部情報工学科卒業論文卒業論文, 2009

問い合わせ先

〒734-8558 広島県広島市南区宇品東一丁目 1 番 71 号
県立広島大学総合学術研究科
伊賀上 大輔