

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 18 日現在

機関番号：33903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656186

研究課題名(和文)次世代電力システムの革新的運用・マネージメントに関する研究

研究課題名(英文)Optimum Power Flow Control Based on Power Apparatus Diagnosis by Intelligent Grid Management System (IGMS)

研究代表者

大久保 仁 (OKUBO, Hitoshi)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：90213660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：将来の電力システムは経年機器の増加の中で、高い信頼度と経済性を有する電力供給が求められており、機器の性能や信頼度に基づき各機器の故障が電力システム全体に及ぼすインパクトが最小となるように電力システムを運用・制御・管理することが必要である。これを実現するため、IGMS(Intelligent Grid Management System)を提案し検討を行った。その結果、機器劣化進展予測に基づく潮流制御及び機器診断に基づくリアルタイム潮流制御、またシステム全体の機器に対する保守戦略を考慮することによって、IGMSの適用により、電力システム全体の信頼性向上、総合経済性の向上の両立が実現する手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：In the future power grid with increasing aged power equipment, it is needed to manage and to operate the system with enhancing the reliability and reasonable cost balance. From this requirement, the IGMS (Intelligent Power Grid Management System) was developed and discussed the effectiveness and the capability to manage the real power grid. As a result, by applying the IGMS, the effectiveness of the reliability enhancement with minimum T & D cost was clarified and approved, by applying both the power equipment diagnoses and power flow control techniques of the power system, at the same time.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電力システム 電力機器 機器診断 潮流制御 経済性 信頼性向上

1. 研究開始当初の背景

日本の電力システムには 1960~1970 年代に据付けられた経年機器が多数存在し、例えば変圧器が約 8,000 台、遮断器が約 5,900 台に達する。これらの機器は、設置時に見積もられていた寿命 30 年を超えており、今後の故障率の上昇を考慮して、保守の種類と時期を合理的に決定する方法の確立が必要になっている。

世界的にも経年機器の保守の種類と時期の決定方法は大きな課題になっており、診断結果に基づいて保守を行う状態監視保全 (CBM) や機器の重要性を考慮して保守を行う信頼度重視保全 (RCM) などが検討されている。

例えば、R. Billinton (Cost related reliability evaluation of bulk power systems: Electrical Power and Energy Systems, Vol. 23, pp. 99-112 (2001)) は、電力システムの信頼度と社会へのコストの関係を明らかにしているが、電力機器故障率は一定と考えており、経年に伴う機器の故障率の上昇とシステム全体の信頼度が低下するという事実が考慮されていない。

一方、近年注目をあびているスマートグリッドは、経済性向上に重点が置かれ、将来発生する既設の送変電機器の故障に備えた監視・制御・有効活用の観点はほとんど考えられていない。

電力料金が企業の競争力に影響すると考えられている現在では、電力料金を低下させる圧力が強く働き、電力システムの拡充や更新に対する投資が抑制される傾向にある。

この状況下で既存電力機器を使いこなし、将来に備えて電力システムの高信頼性を維持しつつ、電力システムおよび社会・環境へのコスト及びリスクを最小化することが必要となる。

2. 研究の目的

電力システムは、従来から構築されてきたシステムの上に、次々と新しい技術を取り入れた機器の積層構成となっており、多くの構成機器の信頼性を維持しつつ全体を運用する必要がある。

現在、分散電源や貯蔵技術、直流技術などの新しい技術が導入されようとしている。このような複合型の次世代グリッドにおいて高品質で安定した電力を供給するためには、構成各電力機器の状態診断から現在性能と将来性能を考慮しつつ、電力システム全体の信頼性を高めるシステムの運用・制御・マネージメントすることが必要となる。

本研究では、次世代電力システムにおいて上記の運用・制御・マネージメントの最適な計画を導出する際に必要な複雑で大量の計算のスループットを短縮し、現実的な時間で

最適解を見つける方法を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究の概念を図 1 に示す。機器の監視システムと制御センター間で情報の伝送授受を行って分析・評価を行い、電力システム全体の最適運用・制御を可能にしている。これに用いる評価アルゴリズムを図 2 に示す。

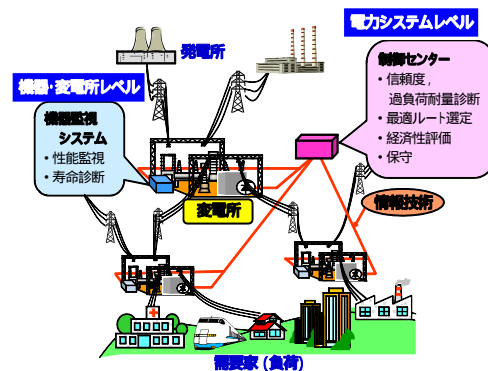


図 1 高信頼・高経済性を両立した電力システムの概念

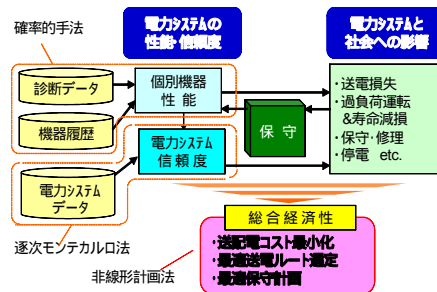


図 2 評価アルゴリズム

診断データや履歴を基に個別電力機器の性能・信頼度・寿命を評価し、これを電力システムデータと連携させることにより電力システム全体の性能と信頼度を評価する。機器故障により、電力システムと一般社会に発生する全ての事象のインパクトをコストに換算して評価し、それが最小になる解を求める。すなわちこの手法の基本原理は、電力システムに発生する様々な事象をコストに換算し、その総和 Z を目的関数として数理計画法を用いて最小化することにある。総和 Z は下式で与えられ、その最低値を求める際に、各機器の故障率を確率的に評価してモンテカルロシミュレーションを用いて算出し、故障時の費用を掛け合わせて求めている。

$$Z = (\text{正常運転時の送電損失}) + (\text{過負荷運転時の電力損失}) + (\text{過負荷運転時の機器の寿命減損}) + (\text{保守費用}) + (\text{停電時の損害}) + (\text{故障時の機器修理費})$$

用) + (故障時の二次被害)

機器の保守種類とその時期は、機器と電力システムの性能・信頼度に大きく影響するため、保守の種類と時期を変えて評価を繰り返す一連のコスト評価の中で最小値を求解することにより、経済性と信頼性の両立する最適な潮流制御、最適な保守戦術（種類と時期）を導出することができる。この方法は世界に先駆けた斬新なアイデアであり大きなチャレンジ性を有している。

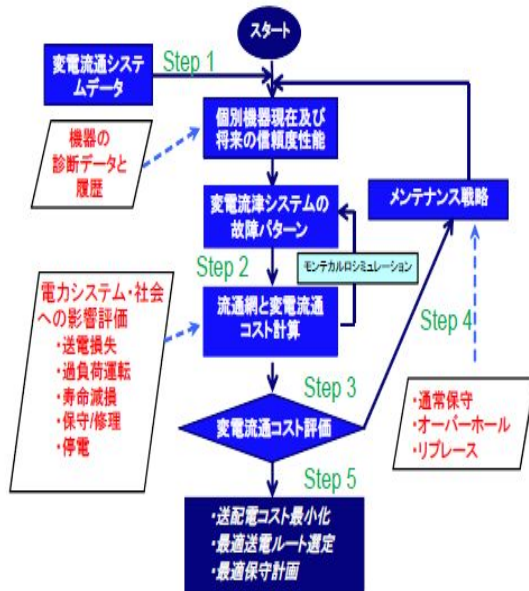


図3 フローチャート

図2に示したアルゴリズムをフローチャートに展開し、図3に示す。根幹となる、機器信頼度を取り入れたインパクト評価手法については、研究申請者らによりすでに基礎開発が開始しているものである。この中でステップ2の流通網と変電流通コスト計算手法の確立、ステップ4の機器寿命を超える長期間にわたるメンテナンス戦略の構築方法、メンテナンス履歴を考慮した大規模な潮流計算の対処方法が問題となる。このため下記の項目について解決する。

1. 流通網と変電流通コスト計算手法の確立
2. 機器寿命を超える長期間にわたるメンテナンス戦略の構築方法
3. メンテナンス履歴を考慮した電力潮流計算の対処方法

4. 研究成果

電力システムは、経年従来システムの上にもその時々新しい技術を取り入れた電力機器の積層構成となっており、多くの構成機器の信頼性を維持しつつ運用する必要がある。これからの次世代スマートグリッドにおい

て高品質で安定した電力を供給するためには、各年代で導入されたさまざまな仕様の各機器の状態診断から現在性能と将来性能を考慮しつつ電力システム全体の信頼性を高めるシステムの運用・制御・マネージメントすることが不可欠である。

そこで本研究は、次世代電力システムにおいて上記の最適化手法を見つける際に必要な大量の計算の時間を短縮し、現実的な時間で最適解を見つける方法を構築することを目的とし、研究を進めてきた。

この結果、全ての組み合わせにおいて各機器の故障率と影響を考慮して行っているモンテカルロシミュレーションの時間短縮および遺伝的アルゴリズムの手法を用いることで、現実的な時間内に総合経済性ファクター（総合コスト）の最小値または最小値に近い最も合理的な値を求める手法を構築した。また、機器の長期に渡るメンテナンスを考える際に、常に数年先までのコストを評価する方法を構築し、合理的なメンテナンス計画が構築できることを見出した。

図4に、本手法により導出された最適潮流制御を20年間運用した場合の総合コストの比較を示す。同図より、機器推定に基づく最適潮流制御により、故障被害が抑制されることで、総コストを約40%抑制可能であることが明らかとなった。

このように、機器の劣化進展推定に基づく潮流制御により、長期視点での信頼度の変化を含めた適切な負荷分担が可能となり、これにより大きな経済性の向上が見込まれることが明らかとなった。

また図5に、IGMSにより各年時点において将来10年間をコスト最小にした場合の等価経年の推移を、IGMS非適用時と比較し示す。等価経年は、各変圧器の機器状態を経年に換算したものである。IGMSの適用により、等価経年が40年を大きく上回らなくなった。

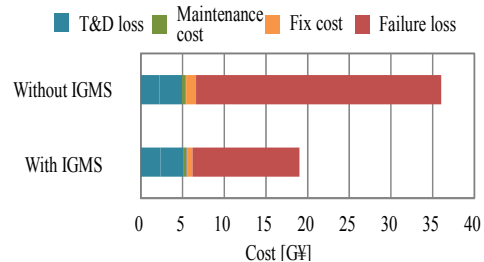


図4 20年間の総合コスト比較

表1 システム全体コストの低減

Apparatus	Replace timing [year]			Total T&D cost [M¥]
	CB1	CB2	CB3	
Individual	16	10	10	9,948.5
	↓-2	↓-2	↓-2	↓-1.99
Whole	14	8	8	9,946.6

ことが分かる。また、TR1 及び TR4 の等価経年の推移をみると、機器更新を考慮した潮流制御による劣化の抑制が確認できる。

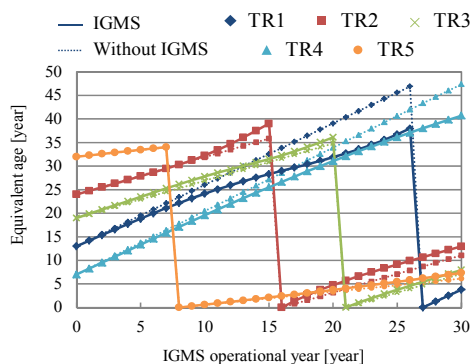


図5 各変圧器の等価経年の推移

さらに系統全体の電力機器に対する最適保守戦略の立案を行った結果、表1に示すように、全体の送変電コストの低減に寄与できることが判明した。

以上の研究結果により、IGMS適用により、機器のメンテナンスであるアセットマネジメントと、電力の潮流制御であるスマートグリッドの両方の概念を統合して電力システムの運用が可能であることを示すことができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

[1] M. Hanai, H. Kojima, N. Hayakawa, K. Shinoda, H. Okubo : “Integration of Asset Management and Smart Grid with Intelligent Grid Management System”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 20, No. 6 (2013), pp. 2195–2202

〔学会発表〕(計11件)

[1] M. Hanai, H. Kojima, N. Hayakawa, H. Okubo: “Intelligent Power Flow Control and Maintenance Technology by IGMS”, Cigré Study Committees B3/D1 Colloquium, Brisbane, Australia, September 8–13 (2013), PS3-1

[2] M. Hanai, K. Shinoda, H. Kojima, N. Hayakawa, H. Okubo : “Optimum Power Flow and Degradation Control of Power Apparatus by CMD with Intelligent Grid Management System (IGMS)”, 18th International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul, Korea, August 25–30 (2013), OG2-06

[3] M. Hanai, K. Shinoda, K. Wakaiki, H. Kojima, N. Hayakawa, H. Okubo: “Optimum Power Flow

Control Based on Power Apparatus Diagnosis by Intelligent Grid Management System (IGMS)”, 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Bali, Indonesia, September 23–27 (2012), L-4

[4] K. Shinoda, M. Hanai, K. Wakaiki, H. Kojima, N. Hayakawa, H. Okubo : “Optimum Maintenance Plan of Electric Power Apparatus in Consideration of Maintenance History by Intelligent Grid Management System (IGMS)”, 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Bali, Indonesia, September 23–27 (2012), J10

[5] 深谷皇紀, 小島寛樹, 花井正広, 大久保仁, 早川直樹: 「電力系統最適運用システム(IGMS)による系統全体の電力機器に対する最適保守戦略の立案」, 平成26年電気学会全国大会, 愛媛大学城北キャンパス, 3月18~20日(2014), 6-061

〔その他〕
ホームページ等

[1] 花井正広, 小島寛樹, 早川直樹, 大久保仁: 「電力系統の保守と潮流の信頼性を確保する新しい概念「IGMS」」, OHM Vol. 99, No. 9 (2012), pp. 4-5

6. 研究組織

(1)研究代表者

大久保 仁 (OKUBO, Hitoshi)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号: 90213660

(2)研究分担者

花井 正広 (HANAI, Masahiro)
名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授
研究者番号: 00587446

(3)研究分担者

小島 寛樹 (KOJIMA, Hiroki)
名古屋大学・エコトピア科学研究所・准教授
研究者番号: 00377772

(4)研究分担者

早川 直樹 (HAYAKAWA, Naoki)
名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授
研究者番号: 20228555