

令和元年6月14日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06215

研究課題名(和文) 安定性・環境性・経済性を共立する電力需給マネジメント技法の創案

研究課題名(英文) Development of Energy Management Technique Improving Supply Stability, Environment and Economic Efficiency

研究代表者

高野 浩貴 (Takano, Hirotaka)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：50435426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：再生可能エネルギー利用電源(以下、「RE電源」と略記する)の普及拡大や競争原理の導入に伴って、電力需給運用における各種問題が現実のものとなっており、新しい電源運用計画技術の確立が急務とされている。本研究では、特にRE電源などに起因する不確実さへの対処方を重視して、需給安定性、環境性ならびに経済性を高い次元で共立する需給マネジメント技法を創案すると共に、実験と計算機シミュレーションの両面からその有用性を実証した。この成果を国内会議、国際会議での発表、学術雑誌への掲載などを通じて公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色は、電源運用計画問題の特徴に着目して、厳密解法を基本とした需給マネジメント技法の創案を図った点にある。対象とする問題とその一般的な解法の特徴分析を経て、厳密解法を基本とした需給マネジメント技法の創案に繋げるといふ、従来の研究開発とは異なる角度からのアプローチをしており、学術面と実用面の双方において新たな方向性を示せたと考えている。ここ数年で当該テーマの重要性は確実に高まっており、さらなる発展が大いに期待できる成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In association with the growth in penetration of renewable energy-based generation systems (REGs), profitable and stable supply-demand operations in electrical power grids are crucially required to manage the high installation of REGs, improve/keep the reliability and the quality of power supply, and provide the economic benefit. With a view to addressing the circumstance, a new problem formulation and its solution method to determine a coordinated operation schedule for the power grid components is proposed. Usefulness of the proposed framework and its solution method is verified through numerical and experimental simulations and discussions on their results. These results were presented at academic conferences and published in academic journals.

研究分野：工学

キーワード：需給マネジメント 最適化 マイクログリッド スマートグリッド 再生可能エネルギー 不確実性
ダイヤモンドリソース

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電力供給システムの需給バランスは、予測データを元に各電源の各時間帯の運用計画を事前に作成しておき、当日は実情に合わせて計画を補正しながら運用することで維持される。工学分野では、この問題を各電源の起動・停止計画問題とそれらの出力配分問題とを組み合わせた最適化問題として定義し、国内外を問わず多くの研究者がその解法を考案しているが、未だその確立には至っていない。近年では、RE 電源や電力貯蔵装置などの要素を取り入れた研究が脚光を浴びているものの、RE 電源や競争原理の導入に伴う不確実さの増大によって制約条件が極端に複雑化するはずであり、この問題を適切に解くことは更に難しくなる。

応募者は、厳密解法をベースとした電力供給システムの需給運用支援技術の開発に取り組んでいる。この技術は、与えられた条件下で最適化理論・手法を駆使して制約充足問題を解き、その上で数理的に最適（あるいは準最適）な運用計画を探索するというユニークな特長を有する。この特長を広く応用できれば、これまで実現し得なかった、電源運用計画問題そのものの難しさを大幅に緩和することに繋がる。こうした取り組みを通じて、同技術が数理的最適性の視点で需給運用計画を評価・決定するのみでなく、制約充足解の分析や探索空間の特徴把握にも繋がると確信し、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、現行の需給運用方式で RE 電源をどこまで活用できるのか、更なる活用にはどのような要素がどれだけ必要になり得るのかを数理的制約充足性の見地から明らかにすることで、合理的な電源運用、RE 電源・電力貯蔵装置導入戦略を見出すと共に、確定的アプローチや確率的アプローチを適切に組み込んだ新しい需給マネジメント技法を創案する。さらに、当該技法を小規模電力供給システム模擬実験装置（マイクログリッドシミュレータ）に実装し、実験と計算機シミュレーションの両面からその有用性を実証するまでを、研究期間内に達成することを目的とした。

応募者は、対象とする問題の特徴を利用した電力供給システムの各種マネジメント技術の開発という独自の視点で研究を進めており、共同研究などを通してその効果と実用性も示してきた。とりわけ、対象問題の制約充足解のみを確実に抽出する技術の開発と、同技術を基盤とした不確実さへの適切な対処方策の検討・導入に注力してきた。これらを元に、RE 電源導入拡大時、競争原理導入時においても従来の需給運用よりも優れた性能を発揮し得る需給マネジメント技法の創案・実証・発信へと繋げる。

3. 研究の方法

本研究では、電源運用計画問題の特徴分析、厳密解法を基本としたアルゴリズムを構築するという切り口で、需給マネジメント技法を創案してその有用性を実証する。この実現に向け、まず、応募者の現有技術によって電源運用計画問題とその一般的な解法の特徴を分析し、これを踏まえて需給マネジメント技法の基盤を構築する。次に、試作技法をマイクログリッドシミュレータに実装し、特に不確実さへの対処方策を重視して、実験と計算機シミュレーションの両面から現状で実現し得る最良の需給運用方策を見出す。さらに、得られた知見を試作技法に反映し、安定性・環境性・経済性共立型需給マネジメント技法へと発展させる。

申請書に記載した通り、平成 28 年度は需給マネジメントの試作技法の構築、平成 29 年度以降は試作技法のマイクログリッドシミュレータへの実装、現状で実現し得る最良の需給マネジメントの探求から需給マネジメント手法の創案・実証までを実施して研究目的の達成を図った。これらの成果は、国内会議、国際会議にて発表すると共に、学術雑誌に投稿するなどして積極的な公開にも努めた。これらから、本研究の目的を計画通りに達成できたと考えている。

4. 研究成果

本研究の成果は、新しい需給運用支援技術、すなわち、需給運用計画問題の枠組みとその解法を提案し、数値計算、シミュレータ上での実験によりその効果を検証した点にある。この例として、平成 30 年度に公開した問題の枠組みとその解法の概要について示す。

(問題の枠組み)

・最適化変数 (CG : 可制御電源, REG : RE 電源, ESS : 電力貯蔵システム, CL : 可制御負荷)

$$u_{i,t} \in \{0, 1\}, \text{ for } \forall i, \forall t, \quad (1)$$

$$g_{i,t} \in [G_i^{\min}, G_i^{\max}], \text{ for } \forall i, \quad (2)$$

$$s_{j,t} \in [s_{j,t}^{\min}, s_{j,t}^{\max}], \text{ for } \forall j, t \in TS_j, \quad (3)$$

$$v_{k,t} \in [v_{k,t}^{\max}, 0], \text{ for } \forall k, t \in TV_k, \quad (4)$$

$$e_t = D_t - \left(\sum_{i=1}^{NG} g_{i,t} \cdot u_{i,t} + \sum_{j=1}^{NS} s_{j,t} + \sum_{k=1}^{NL} v_{k,t} \right), \text{ for } \forall t, \quad (5)$$

where t is time ($t = 1, \dots, T$); i is the number of CGs ($i = 1, \dots, NG$); j is the number of ESSs ($j = 1, \dots, NS$); k is the number of CLs ($k = 1, \dots, NL$); $u_{i,t}$ is the ON/OFF state variable of CGs (ON: 1, OFF: 0), which is an element of

vector u_t and u ; $g_{i,t}$ is the output of CGs, which is an element of vector g_t and g ; $s_{j,t}$ is the output of ESSs and an element of vector s_t and s ; $v_{k,t}$ is the output of CLs and an element of vector v_t and v ; G_i^{max} and G_i^{min} are the maximum and the minimum outputs of CGs; $S_{j,t}^{max}$ (> 0) and $S_{j,t}^{min}$ (< 0) are the maximum and the minimum output of ESSs; $v_{k,t}^{max}$ (< 0) is the maximum output of CLs; TS_j is the set of time that the ESSs are available; TV_k is the set of time that the CLs are available; D_t is the aggregated net load (the sum of electric loads and REG outputs).

• 目的関数

$$\min F(u, g, s, v, e), \quad (6)$$

$$F(u, g, s, v, e) = \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^{NG} [FC(u_t, g_t) + SC_i \cdot u_{i,t} \cdot (1 - u_{i,t-1})] + M_t \cdot e_t \right\}, \quad (7)$$

$$FC_t(u_t, g_t) = \sum_{i=1}^{NG} (A_i + B_i \cdot g_{i,t} + C_i \cdot g_{i,t}^2) \cdot u_{i,t}, \quad (8)$$

where $FC(u_t, g_t)$ is the fuel cost of CGs; SC_i is the start-up cost of CGs; M_t is the price of electricity trading; A_i , B_i and C_i are fuel cost coefficients.

• 制約条件

$$\begin{cases} \text{If } 0 < u_{i,t}^{on} < MUT_i \text{ then } u_{i,t} = 1 \\ \text{If } 0 < u_{i,t}^{off} < MDT_i \text{ then } u_{i,t} = 0 \end{cases} \text{ for } \forall i, \forall t. \quad (9)$$

$$\Delta G_i^{down} \leq g_{i,t} - g_{i,t-1} \leq \Delta G_i^{up}, \text{ for } \forall i, \forall t. \quad (10)$$

$$Q_j^{min} \leq q_{j,t} \leq Q_j^{max}, \quad (t \in TS_j), \quad (11)$$

$$q_{j,t} = \begin{cases} q_{j,t-1} - \eta_j \cdot s_{j,t}, & \text{Charging} \\ q_{j,t-1} - \frac{1}{\eta_j} \cdot s_{j,t}, & \text{Discharging} \end{cases} \text{ for } \forall j, t \in TS_j. \quad (12)$$

$$\begin{cases} S_{j,t}^{min} = \max(S_j^{min}, q_{j,t-1} - Q_j^{max}) \\ S_{j,t}^{max} = \min(S_j^{max}, q_{j,t-1} - Q_j^{min}) \end{cases} \text{ for } \forall j, t \in TS_j. \quad (13)$$

$$P_k^{min} \leq p_{k,t} \leq P_k^{max}, \text{ for } \forall k, t \in TV_k, \quad (14)$$

$$p_{k,t} = p_{k,t-1} - \xi \cdot v_{k,t}, \text{ for } \forall k, t \in TV_k. \quad (15)$$

$$v_{k,t}^{max} = \max(v_k^{max}, p_{k,t-1} - P_k^{max}), \text{ for } \forall k, t \in TV_k. \quad (16)$$

Here, $u_{i,t}^{on}$ and $u_{i,t}^{off}$ are the consecutive operating and suspending duration of CGs; MUT_i and MDT_i are the minimum operating and suspending duration of CGs; ΔG_i^{up} and ΔG_i^{down} are the ramp-up and the ramp-down rates of CGs; $q_{j,t}$ is the state-of-charge of ESSs; Q_j^{min} and Q_j^{max} are the minimum and the maximum states-of-charge of ESSs; η_j is the overall efficiency of ESSs; S_j^{min} and S_j^{max} are the minimum and the maximum capable output of ESSs; $p_{k,t}$ is the state-of-charge of CLs; V_k^{max} (< 0) is the maximum charge of CLs; P_k^{min} (> 0) and P_k^{max} (> 0) is the maximum states-of-charge of CLs; ξ_k is the overall efficiency of CLs.

(解法の方針)

問題を以下の 2 変数の問題へと変換すると共に(5)式を再定義する。

$$u'_{h,t} \in \{0, 1\}, \text{ for } \forall h, \quad (17)$$

$$g'_{h,t} \in [G_h^{min}, G_h^{max}], \text{ for } \forall h, \quad (18)$$

where h is the number of controllable component ($h = 1, \dots, NG, \dots, NG + 3$); $u'_{h,t}$ is the state of controllable component, which is an element of vector u'_t and u' ; $g'_{h,t}$ is the output of controllable component, which is an element of vector g'_t and g ; G_h^{max} and G_h^{min} are the maximum and the minimum outputs of controllable component. Here, $(NG + 1)$ -th component means the aggregated ESS, and $(NG + 2)$ -th one is the aggregated CL. The main power grid is $(NG + 3)$ -th component.

$$D_t = \sum_{h=1}^{NG+3} g'_{h,t} \cdot u'_{h,t}, \text{ for } \forall t. \quad (5')$$

さらに, u' を固定すれば二次計画法の適用対象になる点を発見し, バイナリ粒子群最適化法 (BPSO) と二次計画法を組み合わせてこの問題を解く手法を創案した。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4件)

Hiroataka Takano, Naoto Tanonaka, Shou Kikuda, Atsumi Ohara: A Design Method for Incentive-based Demand Response Programs Based on a Framework of Social Welfare Maximization, IFAC-PapersOnline, Vol. 51, pp. 374 - 379, Oct 2018.

Hiroataka Takano, Asuka Kudo, Hisao Taoka, Atsumi Ohara: A basic study on incentive pricing for demand response programs based on social welfare maximization, Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 8, pp. 136 - 144, Aug 2018.

Thin Zar Soe, Hiroataka Takano, Ryuhei Shiomi, Hisao Taoka: Determination method for optimal cooperative operation plan of microgrids by providing alternatives for microgrid operators, Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 8, pp. 104 - 111, Aug 2018.

高野浩貴, 村田純一, 菅原明德, 田岡久雄: 系統情報の不確実性を考慮した配電ネットワーク事故復旧に関する研究, 電気学会論文誌 C, Vol. 138(8), pp. 1052-1061, 2017年8月

[学会発表](計20件)

高野浩貴, 中野文哉, 浅野浩志: インセンティブ型ディマンドレスポンスの設計手法に関する検討, 2019年電子情報通信学会総合大会, 2019年3月

後藤瞭太, 高野浩貴, 浅野浩志: マイクログリッドの可制御設備を対象とした協調運用計画作成手法の検討, 平成31年電気学会全国大会, 2019年3月

伊藤大智, 高野浩貴, 塩見竜平, 田岡久雄: マイクログリッドの運用計画問題への最適化アルゴリズムの適用に関する検討, 平成31年電気学会全国大会, 2019年3月

Hiroataka Takano, Ryota Goto, Thin Zar Soe, Hiroshi Asano: A Study on Coordinated Operation Scheduling of Controllable Components in Microgrids, 2nd International Workshop on Power Engineering in Remote Island, Oct 2018.

田野中直人, 高野浩貴, 菊田翔, 小原敦美: 需要抑制に対するインセンティブの設定方法に関する検討, 平成30年電気学会全国大会, 2018年3月

伊藤大智, 高野浩貴, 塩見竜平: 離散型粒子群最適化法と二次計画法に基づくマイクログリッドの需給運用計画の決定手法, 平成30年電気学会全国大会, 2018年3月

Thin Zar Soe, Hiroataka Takano, Ryuhei Shiomi, Daichi Ito: Application of Binary Particle Swarm Optimization in Operation Scheduling Problem for Microgrids, International Workshop on Power Engineering in Remote Island, Feb 2018

Hiroataka Takano, Naoto Tanonaka: A Study on Design Method for Peak-Time Rebate Programs Based on Social Optimization, International Workshop on Power Engineering in Remote Island, Feb 2018

高野浩貴, 田野中直人: 需要抑制に対するインセンティブの設定方法に関する基礎検討, 平成29年電気学会スマートファシリティ/システム合同研究会, 2017年11月

Thin Zar Soe, Hiroataka Takano, Ryuhei Shiomi, Hisao Taoka: An Alternative Selection in Optimization of Cooperative Operation of Controllable Generators and Batteries for Microgrids Operators Addressing with Operational Benefits, 平成29年電気学会電力・エネルギー部門大会, 2017年9月

塩見竜平, 高野浩貴, 伊藤大智, 松田翔, 田岡久雄, 本堂義記: 構成機器の特性を踏まえたマイクログリッド向け需給運用計画問題の検討, 平成29年電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2018年9月

THIN ZAR SOE, Hiroataka TAKANO, Ryuhei SHIOMI, Hisao TAOKA: A Study on Optimization of Cooperative Operation Controllable Generators and Batteries in Microgrids Considering Operational Benefits, 平成29年電気学会電力・エネルギー部門大会, 2017年9月

塩見竜平, 高野浩貴, 伊藤大智, 松田翔, 田岡久雄, 本堂義記: 小規模グリッド向け需給運用計画の最適化に関する研究, 平成29年電気学会電力・エネルギー部門大会, 2017年9月

Ryuhei SHIOMI, Hiroataka TAKANO, Takashi UEDA, THIN ZAR SOE, Hisao TAOKA, Yoshinori HONDOU: A Study on Optimization of Supply-Demand Balancing Operation Plan for Microgrids, The International Conference on Electrical Engineering 2017, Jun 2017.

THIN ZAR SOE, Hiroataka TAKANO, Ryuhei SHIOMI, Hisao TAOKA: Determination Method for Optimal Cooperative Operation Plan of both Controllable Generators and Batteries in Microgrids Considering Operational Benefits, The International Conference on Electrical Engineering 2017, Jun 2017.

Asuka OKUMURA, Hirotaka TAKANO, Hisao TAOKA, Atsumi OHARA: A Basic Study on Incentive Pricing in Demand Response Programs based on Consumers' Surplus, The International Conference on Electrical Engineering 2017, Jun 2017.

Akinori SUGAWARA, Hirotaka TAKANO, Junichi MURATA, Hisao TAOKA: A Study on Service Restoration Problems Based on Two-Stage Stochastic Programming, The International Conference on Electrical Engineering 2017, Jun 2017.

塩見竜平, 高野浩貴, 田岡久雄, 村田純一: 小規模グリッド向け需給運用計画の最適化に関する研究, 平成 29 年電気学会全国大会, 2017 年 3 月

菅原明德, 高野浩貴, 田岡久雄, 村田純一: 不確実な状況に対応した配電ネットワーク事故復旧問題に関する研究, 平成 29 年電気学会全国大会, 2017 年 3 月

奥村明日香, 高野浩貴, 田岡久雄, 小原敦美: 需要抑制に対する需要家余剰の変化に基づくインセンティブの設定方法に関する基礎検討, 平成 29 年電気学会全国大会, 2017 年 3 月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://researchmap.jp/takano-hirotaka>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。