

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05923

研究課題名(和文) 可変時間離散幅を用いた電源ベストミックス評価

研究課題名(英文) Generation Best Mix Analysis based on Variable Discretization Time Intervals

研究代表者

原 亮一 (HARA, RYOICHI)

北海道大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80361872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：再生可能エネルギー発電が電力システムに大量に導入された場合の影響を評価するためには、計算機によるシミュレーションが必要不可欠である。このシミュレーションでは、実際には連続的に変化する「時間の流れ」を、例えば1秒や30分といった単位で細切れに(時間離散化)してモデル化する必要がある。細かく離散化するほどモデルの精度は向上するが、計算時間は増加するデメリットがある。そこで本研究では、解析の重要度に応じて、時間離散幅を動的に変更する手法を開発し、蓄電池導入量の評価、ならびに発電機起動停止計画問題(UC)への適用を試みた。その結果、特にUCについては計算時間を30%程度に短縮することができた。

研究成果の概要(英文)：Impact analysis of renewable energy generation installations requires computational simulations. Typical modeling of power systems in these simulations is achieved by discretizing the time domain which inherently lies in continuous domain. Typically, the constant time interval such as one second or thirty minutes is applied in the discretization process. Applying shorter time intervals would improve the accuracy of modeling, however, it could terribly elongate the computation time. This research developed the variable discretization technique, which applies different time intervals considering the necessity of analysis. The developed method was applied in battery sizing and unit commitment (UC) problems. Especially, for the UC, the proposed method succeeded in reducing the computation time by 30% of conventional methods.

研究分野：電力システム工学

キーワード：発電機起動停止計画問題 蓄電池 再生可能エネルギー発電

1. 研究開始当初の背景

近年急速に導入が進んでいる太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー発電(以下、RE 電源)は、環境性に優れる反面、経済性や出力安定性に劣るため、その大量導入が電力システムの安定運用・経済運用に与える影響を評価するとともに、それを解消するための技術開発が必要である。しかし、電力システムは大規模で複雑なシステムであるため、実規模レベルの研究・実験環境を物理的に構築することが難しく、計算機でのシミュレーションによることが多い。とくに RE 電源の導入が及ぼす影響を評価するためには、電力システム内の多数の発電機の運転方法を模擬した運用シミュレーションを実施する必要があるが、このシミュレーションでは、決定変数に 0-1 変数を含む発電機起動停止計画(以下、UC)を解く必要がある。UC では、検討時間断面数が増加すると指数関数的に計算時間が延びるため、例えば 1 日の計画問題の場合、30 分間隔での時間離散化が適用されることが多い。このように、計算機上でのモデリングの際の時間離散幅をできるだけ短くすることで、モデル化による誤差を軽減できるものの、取り扱う時間断面数が増加するため各種計算時間の長期化に繋がり、両者のトレードオフを意識することが常に求められる。

2. 研究の目的

本研究では電力システムの状態変化の非定常性に着目し、UC の計算において、需要変動の大きな時間帯は密に、逆に変動が穏やかな時間帯は粗く時間離散化を行うといったように、時間離散幅を可変とすることで、総時間断面数(=計算時間)を不変としたまま、より精度良くモデリングする手法を開発することを目的とした(図 1)。

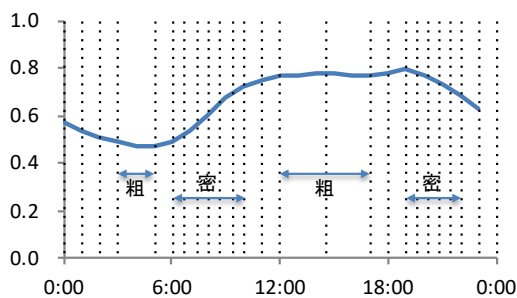


図 1 可変時間離散幅のイメージ
(横軸：時間、縦軸：需要量)

3. 研究の方法

(1) 蓄電池容量と RE 電源出力変動抑制効果の評価

秒オーダーで観測された RE 電源出力データに対して、出力変動の大きさに基づき可変時間離散幅を適用する手法を開発する。また、開発した手法に基づいて、蓄電池容量と抑制効果の関係を定量的に示す。

(2) 可変時間離散幅の UC への適用

従来、数 10 分の固定的な時間離散幅で計算されてきた UC に対して、需要や RE 電源出力のトレンド成分の変化に基づいて可変時間離散幅を適用する手法を開発する。

4. 研究成果

(1) 蓄電池容量と RE 電源出力変動抑制効果の評価

太陽光発電(以下 PV)の導入拡大に伴い、最近では、電力系統運用者から PV の連系に際して出力変動抑制に関する要件が課せられるようになってきており、要件を遵守するためには蓄電池の併設が求められる。蓄電池の設置容量をできるだけ節減するためには、PV の出力データに基づいた容量評価シミュレーションならびに蓄電池制御系の詳細設計が必要である。ところで PV の出力変動は季節性を有するため、上記の評価・設計には一般的には数年分の出力データを用いたバックテストを実施することになる。このテストは計算量が極めて大きく、試算の簡便化が強く求められている。そこで研究代表者らは、ある 1 年分の PV 出力時系列データを用いて、(手法 A)蓄電池利用量が最も大きくなった日のデータにのみ基づいてテストを実施した場合、(手法 B)手法 A で取り扱った日を含む 1 ヶ月分のデータにのみ基づいてテストを実施した場合、(手法 C)1 年分のデータを用いてテストを実施した場合の 3 通りについて、その結果を比較し、手法 A、すなわち最も変動が大きく、必要蓄電池容量が最も大きくなる日に着目するだけで十分であることを明らかにした。一方で、(手法 D)手法 A で取り扱った日については 1 秒サンプリングのデータを、その他の日については 4 秒サンプリングのデータを用いてテストを実施した場合には、粗い時間解像度の時間帯の影響を受けて、所望の制御設計がなされないことを明らかにした。すなわち、必要蓄電池容量設計という観点からは可変離散時間離散幅の適用は効果的であるものの、制御系設計に対しては従来型の詳細データに基づくテストが必要であることになる。ここまでの成果についての詳細は、[学会発表]⑩~⑬で著している。

また、RE 電源の出力変動対策用の蓄電池の必要容量を削減するという観点からは、RE 電源の出力そのものを一部抑制する(以下、出力抑制)方策と併用することが効果的である可能性がある(図 2)。そこで本研究では、当初の研究目的を発展させ、出力抑制との組み合わせ手法を開発した。開発した組み合わせ手法の概要は次の通りである。まず、出力抑制を開始するトリガーとして、出力変動対策のために必要な蓄電池出力に対して閾値(制御パラメータ。この値の設計により制御性能ならびに逸失発電電力に影響を与える)を設ける。蓄電池出力がこの閾値を超えた場合に、RE 電源出力を一定値(以下では出力

抑制レベルと呼ぶ) でキャップをかける。ただし、永続的な出力抑制は不要な逸失発電電力の増加につながるため、一定期間、RE 電源出力が出力抑制レベルを下回る場合には、出力抑制機能を無効化(リセット)するものとした。

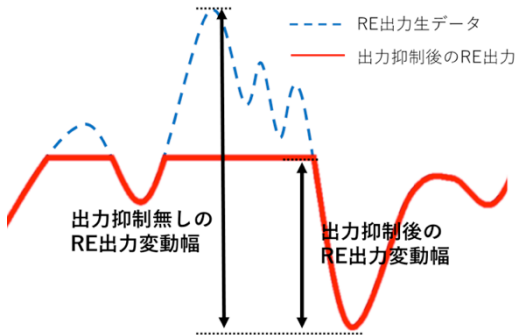
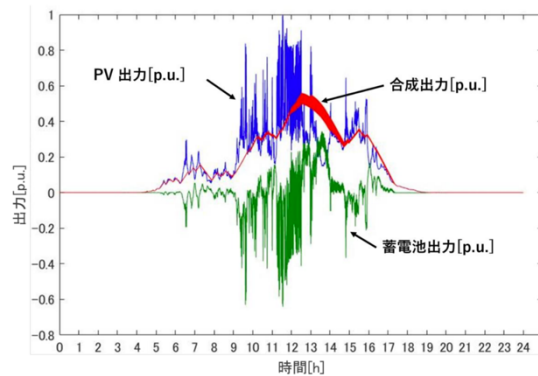
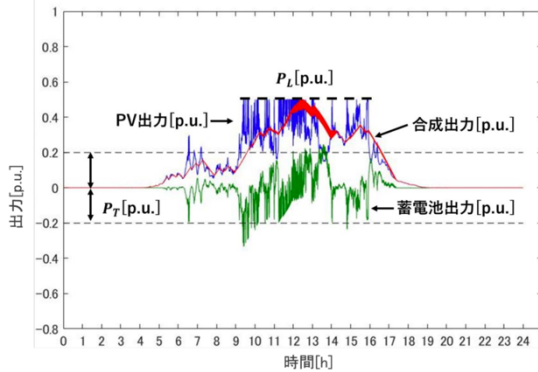


図2 出力抑制による変動幅縮小効果 (イメージ図)

太陽光発電に対して「出力抑制を実施せずに変動分を全て蓄電池で吸収した場合」と、「提案手法を適用した場合」の動作の様子を図3に示すが、提案手法により出力変動そのものが小さくなり、結果的に変動抑制に必要な蓄電池容量も小さくてすんでいることが分かる。また、これらの制御結果は出力抑制のトリガーとなる閾値ならびに出力抑制レベルの2つのパラメータに依存することを確認しており、その依存関係を図4にまとめる。以上の成果は〔学会発表〕⑤、⑦が詳しい。



(A) 出力抑制未実施時



(B) 出力抑制実施時

図3 出力抑制による変動抑制効果

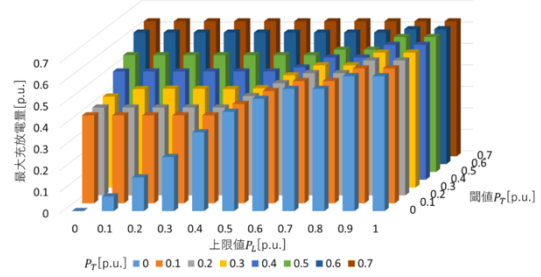


図4 出力性制御のパラメータと必要蓄電池容量

(2) 可変時間離散幅の UC への適用

一般的に UC で利用する残余需要は予測値であり、その値には誤差を有する。また、離散時間内でも残余需要は本来時々刻々と変化するものである。UC の定式化においては、離散時間内の変動や予測誤差は、発電機群に調整力を確保することにより対応することになるが、計算時間の短縮化のため離散時間幅を長くすると、離散時間幅内の変動・誤差も大きくなるため、計算上確保すべき調整力が増え、結果的に発電コストの増加につながる可能性もある。このような理由から、特に残余需要が大きく変化する時間帯については、離散時間幅を短くとすることが肝要と考えられる。反対に、深夜のように残余需要の変動が少ない時間帯には離散時間幅を長くすることで、考慮する時間帯数を減らすことができる可能性が期待できる。そこで本研究で提案する可変離散時間幅の適用方法(以下、提案手法)では、まず需要予測や RE 出力予測の時間粒度で決まる最小の時間幅(ここでは 10 分を想定)で用意した残余需要 P の時系列データの内、次の条件を満たす連続した複数の時間帯を一つの時間帯としてまとめる。以下、この作業を統合と呼ぶ。

$$|P_t - P_{t-1}| < L^{min}$$

ここで、 L^{min} は事前に設定する閾値である。すなわち提案手法では、前時間帯からの必要供給力の変化が閾値 L^{min} 以下の時間帯を統合する。これは前述の通り、必要供給力の時間変化が微小であれば起動発電機の変化が起こりにくいと考えられるためである。

ただし、単純に(1)式による判定のみで複数の時間帯を統合すると、次の2つの観点から不具合が生じる可能性が懸念される。1つ目は、必要供給力の小さな変化が長期にわたり積み重なることで、本来必要供給力が大きく異なる時間帯を1つに統合してしまう可能性である。このような状況を防ぐために提案手法では、前述の条件式を満たす時間帯の内、次の条件を満たす時点以降は統合を解除することとする。

$$|P_t - P_{t0}| > L^{max}$$

ここで、 P_{t0} は統合作業を開始した時点における P である。2つめの懸念は、本来必要な発電機起動台数が異なる時間帯が一つに統合

されてしまう可能性である。例えば、ある時間帯における必要供給力が*N*台の発電機でまかなうことができても、その後必要供給力が徐々に増加していくと*N*台の発電機では間に合わず、*N* + 1台目を起動しなければならない状況などが挙げられる。そこで提案手法では、次の要領で統合を解除することとする。まず起動停止の対象となる発電機を定格出力における平均燃料費が安い順に並べる。次に*k*番目の発電機の最大出力と最小出力を P_k^{max} , P_k^{min} とし、必要供給力が次式の範囲内にあるとき、当該時間帯において発電機の起動停止台数が変化する可能性が高いと考え、統合できないものとする。

$$\sum_{k=1}^i P_k^{max} - P_{i+1}^{min} \leq P_t \leq \sum_{k=1}^i P_k^{max}$$

以上の要領で時間帯の統合を行うことによる計算時間短縮効果ならびに計算精度に与える影響を数値試算により検証した。なおここでは比較対象として、需要の変化量などを意識せずに、一律、2 時間帯ずつ統合した場合を用意した。

厳密解（統合を一切しない、従来解法）に対する、各統合手法を適用した場合の日間のコスト増分を月別に図5に示す。両手法とも厳密解よりもコストが増加しているものの、提案手法では比較手法に対して約 10 分の 1 の誤差、厳密解に対する誤差でも 0.1% 程度にとどまっており、その影響はかなり小さいと結論付けできよう。一方、関心事の平均計算時間に関しては、提案手法の適用により厳密解を求める場合と比較して約 3 分の 1 に短縮できることを確認しており、計算時間の大幅な改善が実現できた。以上の成果は [学会発表] ①, ④が詳しい。

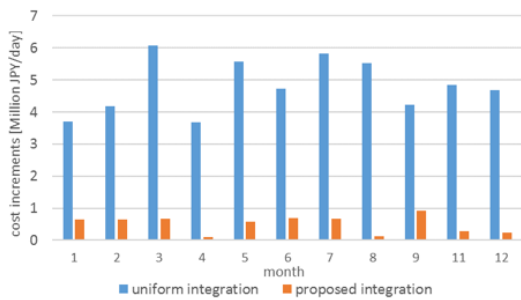


図5 UC への可変離散時間幅適用による誤差の評価

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)

[学会発表] (計 13 件)

- ① 泉谷圭祐, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「RE 電源大量導入下の電力系統における可変離散時間幅発電機起動停止計画」, 平成 30 年電気学会全国大会, 6-108, pp. 169-170 (2018/03/14-16)
- ② 森下雄斗, 原亮一, 北裕幸, 田中英一,

「出力抑制制御と蓄電池を併用した自然変動電源の出力変動緩和手法-出力抑制リセットタイミングの検討-」, 平成 30 年電気学会全国大会, 6-112, pp. 177-178 (2018/03/14-16)

- ③ 森下雄斗, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「出力抑制制御と蓄電池を併用した風力発電の出力変動緩和手法の提案」, 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, No. 45, p. 64 (2017/10/28-29)
- ④ 泉谷圭祐, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「RE 電源と蓄電池を含む電力系統の可変離散時間幅発電機起動停止計画」, 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, No. 48, pp. 67-68 (2017/10/28-29)
- ⑤ 森下雄斗, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「出力抑制制御と蓄電池を併用した自然変動電源の出力変動緩和手法の提案」, 平成 29 年電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-17-170/PSE-17-170, 6 pages (2017/09/21-22)
- ⑥ 泉谷圭祐, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「コージェネレーションシステムの系統調整力としてのコスト評価」, 平成 29 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No. P23, 2 pages (2017/09/05-07)
- ⑦ 森下雄斗, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「出力抑制制御と蓄電池を併用した太陽光発電出力変動緩和手法の基礎検討」, 平成 29 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No. 252, 2 pages (2017/09/05-07)
- ⑧ 吉田匠, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「費用リスク最小化を目的とした送電設備計画の基礎検討」, 平成 28 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, No. 50, p. 72 (2016/11/05-06)
- ⑨ 吉田匠, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 今久保知史, 小熊祐司, 「再生可能エネルギー発電の大量導入を考慮した定置型蓄電池と送電線の設備計画」, 平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No. 241, 2 pages (2016/08/07-09)
- ⑩ 吉田匠, 原亮一, 北裕幸, 田中英一, 「再生可能エネルギー発電の大量導入を考慮した定置型蓄電池と送電線の設備計画に関する基礎検討」, 平成 27 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, No. 57, 2 pages (2015/11/07-08)
- ⑪ 佐藤翔平, 原亮一, 北裕幸, 今久保知史, 「PV 出力変動抑制用リチウムイオン電池の最大変動日に着目した容量設計」, 平成 27 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, No. 68, 1 page (2015/11/07-08)
- ⑫ 佐藤翔平, 原亮一, 北裕幸, 今久保知史, 「太陽光発電の出力変動抑制用リチウムイオン電池の容量評価に関する検討」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-15-062/PSE-15-084, 6 pages

(2015/09/16-18)

- ⑬ 佐藤翔平, 原亮一, 北裕幸, 今久保知史,
「PV出力変動抑制用リチウムイオン電池
の長期時系列データに基づく容量評価」,
平成27年電気学会電力・エネルギー部門
大会, No. 114, 2 pages (2015/08/25-27)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 亮一 (HARA, Ryoichi)

北海道大学・大学院情報科学研究科・

准教授

研究者番号：80361872