

シミュレーテッド分岐マシンを 仮想発電所へ適用するための概念検証

Proof-of-Concept Studies on Application of Simulated Bifurcation Machine to Virtual Power Plants

山崎 朋秀 YAMAZAKI Tomohide

再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）システムや、蓄電池、電気自動車（EV）など、膨大な数の分散電源を統合制御し、一つの発電所のように機能させる仮想発電所（VPP）を実現する上で、従来のコンピューターでは、組み合わせ最適化計算の解を現実的な時間内で得られない場合があった。

そこで、東芝エネルギーシステムズ（株）は、シミュレーテッド分岐マシン（Simulated Bifurcation Machine, SBMと略記）をVPPへ適用する概念検証（PoC）を行った。その結果、出力が急峻（きゅうしゅん）に変動する再エネ対策などの問題に短時間でより良い解が得られる可能性を確認した。また、電力システムの制約を考慮した最適潮流計算についてもPoCを実施した。

The movement toward the realization of virtual power plants (VPPs) that integrate a large number of distributed power sources including renewable energy systems, storage batteries, and electric vehicles (EVs) has recently accelerated. However, in order to match the amount of electricity generated by VPPs to demand, the time required to find the optimal combination of distributed power sources using a conventional computer system often exceeds the practical time limit due to a lack of the necessary computing resources.

To rectify this situation, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has been implementing proof-of-concept (PoC) studies on application of the Simulated Bifurcation Machine (SBM) to the solution of large-scale combinatorial optimization problems of VPPs. As part of these studies, we have confirmed that the SBM has the capability to swiftly provide better solutions in response to a variety of situations, including steep power fluctuations of renewable energy systems, than conventional computer systems. We have also performed PoC studies on the solution of optimal power flow problems taking the constraints of electric power systems into consideration.

1. まえがき

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて太陽光発電や風力発電といった再エネの導入量が急増している。再エネの出力は、気象条件などで変化する場合があり、発電量の自由な制御ができない。一方、蓄電池や、EV、燃料電池などの分散電源の導入量も増加しつつある。再エネを含む複数の分散電源を組み合わせ、あたかも一つの発電所のように発電量を制御するVPPが注目されており、東芝エネルギーシステムズ（株）は様々な技術を開発している⁽¹⁾。

VPPの発電量を所望の値に制御するためには、VPPを構成する電源を適切に選択する必要がある。特に各電源の利用に対してコストが発生する場合には、コストを可能な限り抑制しながら、所望の発電量が得られる電源の組み合わせを選ぶことが重要である。図1は、様々な電源の中から、条件を満たす組み合わせを選択するイメージを示している。4台から選択する組み合わせ数は16通りと少ないが、16台では約6万通りとなり、急激に増加する。

膨大な組み合わせの中から条件を満たす組み合わせを効

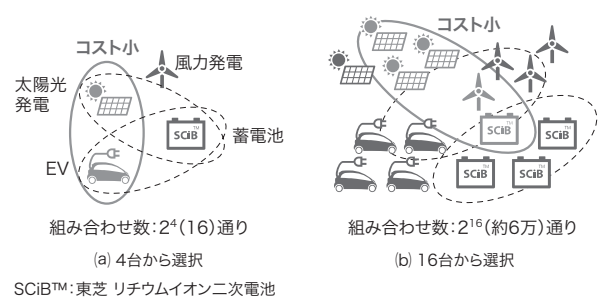


図1. VPPを構成する電源の選択

4台から選択する組み合わせ数は16通りと少ないが、16台では約6万通りと急激に組み合わせ数が増加する。

Conceptual diagram of selection of power sources constituting VPP

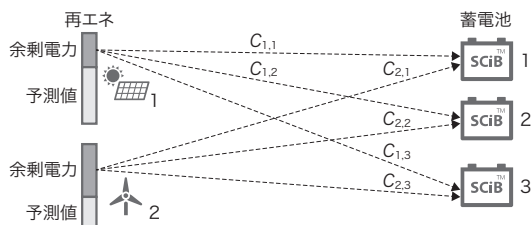
率的に選択する方法としては、組み合わせ最適化問題として定式化して、組み合わせ最適化ソルバーなどにより問題を解くことが考えられる。一方、組み合わせ数が多いと現実的な時間で条件を満たす組み合わせが得られないことがある。そこで、大規模な組み合わせ最適化問題を短時間で解ける強みを持つ、当社のSBMの適用を検討した。

2. シミュレーテッド分岐マシンを用いたPoCの例

再エネの出力は、天候などに応じて変動する場合があるため、それを予測することが重要である。一方、予測は必ず誤差を含むため、再エネ出力が予測よりも上振れして所望の値を超過する電力（余剰電力）が発生する場合がある。そこで、予測値の上振れを事前に想定し、余剰電力を吸収する蓄電池と再エネで構成するVPPについて、それぞれの使用有無を決定する問題を一例として考える。ただし、充電の際には、再エネと蓄電池の組み合わせによってコストが異なるので、コストが小さいものを選ぶようにする。異なるコストの具体例としては、再エネと蓄電池が離れた位置にあり、送電線を介した充電のために送電線の利用料（託送料金）が生じる状況などが考えられる。また、余剰電力を蓄電池が吸収した後の再エネの出力予測値の合計値が、所望の値に一致するなどの制約条件も考慮する。図2は、このような最適化問題のイメージである。合計コストは、再エネと蓄電池の組み合わせで決まるそれぞれのコストの総計である。この問題をSBMで計算可能な、変数が2値で制約条件がなく2次式で表現されるQUBO（Quadratic Unconstrained Binary Optimization）の形式に変形して解く。

今回、再エネと蓄電池がそれぞれ1,000台の条件で検証する。この条件での合計コストは、100万項（1,000台×1,000台）で表現される複雑な関数となる。また、再エネと蓄電池の使用有無を2値の変数で表現しているため、その組み合わせは $2^{2,000}$ 通りとなる。

3.6 GHz・8コアCPU、64 Gバイトメモリーのマシンを用い、汎用の最適化ソルバーでこの問題を解くと、24時間以上計算しても最適解に至らなかった。ただし、最適解で



$C_{i,j}$: i番目の再エネとj番目の蓄電池を組み合わせた場合のコスト

$$\text{合計コスト} = C_{1,1} \times \text{再エネ1使用有無} \times \text{蓄電池1使用有無} \\ + C_{1,2} \times \text{再エネ1使用有無} \times \text{蓄電池2使用有無} \\ + \dots$$

図2. 蓄電池と再エネの組み合わせを決定する最適化問題

余剰電力を吸収する蓄電池をあらかじめ確保しながら、VPPを構成する再エネの組み合わせを選択するような問題設定である。

Optimization problem to determine combination of storage batteries and renewable energy systems

はないが、1秒で制約条件を満たす解が得られた。一方、同じ問題について、AWS（Amazon Web Services）のp3.2xlarge GPUインスタンスを用い、1秒を計算時間の上限としてSBMで解いたところ、同じく制約条件を満たす解が得られた。各ツールで算出された解を比較すると、SBMで得られた解のコストは、汎用の最適化ソルバーで得られた解のコストよりも56.4%小さいことを確認した。

今回の検証だけでは、SBMの優位性を明言することはできないが、特に1秒などの短時間で低コストの解を得る問題設定では、SBMが有効に作用する可能性が示唆された。このため、天候に応じて短時間で急峻に変動する再エネ出力に対応しながら、低コストの電源を組み合わせる技術としてSBMの活用が期待できることが分かった。

3. 電力システムの制約条件を考慮する技術の開発

大規模なVPPを構成する場合には、距離の離れた電源間での電力系統を介した電力授受が必要となり、電圧の上下限值といった電力系統の制約条件を考慮した最適化問題（最適潮流計算）を解く必要がある。当社は、この最適潮流計算をQUBO形式に変形してSBMで計算する技術も開発中である。

4. あとがき

電力・エネルギー分野の最適化問題のうち、従来の最適化技術では計算が困難になると思われるものに、SBMを適用するPoCを実施した。 $2^{2,000}$ 通りの組み合わせから制約条件を満たす解を求める計算で、1秒の間により良い解が得られる可能性があることを確認した。また、電力系統の制約を考慮した、最適潮流計算の問題への取り組みも述べた。今後は、電力・エネルギー分野においてSBMの実用化を進めていく。

文献

- (1) 小坂田昌幸, ほか. グリーンエネルギーアグリゲーションへの取り組み. 東芝レビュー. 2019, 74, 1, p.2-7. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/techreview/2019/01/74_01pdf/a02.pdf>, (参照 2022-08-01).



山崎 朋秀 YAMAZAKI Tomohide

東芝エネルギーシステムズ（株）

エネルギーシステム技術開発センター システム制御技術開発部

電気学会会員

Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.