

審査の結果の要旨

氏名 馬場博幸

太陽光発電(以下、PV)は再生可能エネルギーとして有力な電力源として期待されているが、人為的な出力の増減が困難であるため、常に供給=需要を維持しなければならない電力システムにとっては周波数が維持できない要因ともなりうる。蓄電池などを使って余剰電力を貯める手段は、現時点における蓄電池のコストを考慮すると調整力としては経済的な限界がある。こうした現状を受けて、本論文は、余剰電力をその時に能動的に消費する、という需要創出型デマンドレスポンスという手法を着想し、その可能性について、いくつかの側面から検討したものである。

本論文は8章から成る。

第一章は、なぜ「能動的電力需要創出」なのか、本論文の背景を述べている。電力システムの構造、火力発電所、揚水発電所の概要や、電力系統同士の連系、中央給電指令所の役割、事業者間の電力取引など電力システムの概要を整理したうえで、PVの大量導入による余剰発電の電力システムに対する弊害を分類し、これらのうち本論文で扱う対象範囲を明示している。

第二章は、デマンドレスポンス(DR)に関する既往研究や実証例をレビューし、本研究でいうところの需要創出型DRの概念の明確化を図っている。従来のDRは需要抑制としてとらえられており、需要創出型DRの研究例・実施例が殆どないことを明らかにしている。並行して、家電機器等に対するIoTの動向を整理し、アグリゲーターが、IoT化された各世帯の家電機器をアプリケーションで操作することにより、PVによる余剰発電を能動的に消費する、能動的電力需要創出の可能性を示している。これらのレビューを経て、本論文の目的を「アグリゲーターが需要創出し、PV連携する仕組みの実現可能性を確認すること」と設定するとともに、解決すべき5つの課題を示している。

第三章では、整理された課題1「家電機器はDR資源として有意な電力需要量があるのか」が、シミュレーションにより検討されている。IoTを用いてPVで余剰発電が発生した際に需要を創出する手法をiDRと呼称し、洗濯乾燥機、炊飯器や、何らかの形でエネルギーが貯蔵できる充電器、ヒートポンプ式給湯機など電力需要の適時性が低い家電機器がその対象として適切であるとして検討対象として特定している。まず、iDR対象となる家電機器それぞれの家電機器のiDRシグナルへの応答電力量の確率分布、そのシグナルに応答する世帯数の確率分布を重ね合わせてiDR応答電力量の確率分布を求めることで、対象機器群総体の需要創出ポテンシャルが概算されている。そのうえで、iDRの実施プロセスをcontracted status、demand pool、dispatched、finishの繰り返すプロセスとして定義し、各機器の一時停止・再起動特性や、ユーザー受容性などの制約条件を考慮しつつ、アグリゲーターにより需要創出の割り付け方法を設定する試算方法を考案したうえで、再度、需要創出ポテンシャルを試算し、PV余剰発電緩和効果を検討している。

第四章では、課題2「ユーザー側の家電機器が起動信号を受け入れ可能な状態になったことをアグリゲーターがどうやって知るのか」、および課題3「アグリゲーターがどうやって家電機器を起動/停止するのか」について検討している。課題2については、例えば炊飯器であれば、米と水を入れて蓋をするなどのユーザー側が準備作業を完了した際に、機器側に設置されたiDRボタンを用いてユーザーがアグリゲーターにその起動権限を渡す意思表示と伝達する構造を考案し、検証実験においてIoT家電機器として機能させる実験機の開発・試作内容について説明している。課題3については、アグリゲーターがIoT家電機器を直接起動/停止し、また、使用電力量実績などを集計する仕組みをデマンド・ディスパッチシステム(DDS)として設計し、実験によってそのシステムが期待どおり機能することを確認している。また、機器の定格値や実績値を使用する場合に発生する誤差のメカニズムを明らかにするとともに、その改善方法を考察し、IoTを活用して予測値を得る方法を提案している。

第五章では、課題4「家電機器の起動/停止とPV出力抑制の緩和との連携動作方法」について検討している。具体的には、PV出力抑制と需要創出のスタイルの差異を整理したうえで、DDSとPVの連携シーケンス・プロセスを設定し、DDSとPVの連携運転実験を行い、円滑に連携運転が可能である見通しを示している。さらに、現行PCS(Power Conditioning System)のスロープ特性が需要創出特性とマッチしない部分があることを見出し、PCSの動特性として、時定数を適応的に変える機能の追加を提案している。

第六章では、課題5「アグリゲーターが家電機器を起動/停止することをユーザーは受け入れるのか」について、ユーザーへのインタビューにより検証し、一定の受容性があると推測している。

以上のように、本論文は、IoTを用いてDRを能動的な需要抑制手法としても活用するという新たな概念を提案し、その実現を左右する諸課題について特定するとともに、各課題の解決手段を考案し、シミュレーションや実験により、その有効性を検証している。それぞれの課題についてはさらなる検討の余地を残しているが、新たな概念の創出し、それを工学的に実現する手段の大枠を示しつつ、その実現可能性に関する見通しを提示した工学的意義は極めて高いと考えられる。

以上のような課題へのアプローチの新規性、境界領域の開拓性、及び工学的有用性に鑑みて、本論文は博士(工学)の学位請求論文として一定水準に達していると判断できることから、本論文を博士(工学)の学位請求論文として合格と認める。