

USB-PD を活用した電力の合成分配制御に関する検討

田村 光汰[†] 川喜田 佑介[§] 戸辺 義人[†] 横川 慎二[‡] 市川 晴久[‡]

青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科[†]

電気通信大学 i-パワーエネルギー・システム研究センター[‡]

神奈川工科大学情報学部情報工学科[§]

1. はじめに

太陽光発電などの再生可能エネルギーは発電量の変動が大きく、家庭などで電力源として利用するには電池などの大容量の蓄電装置に電力を貯めることにより供給を安定化させるプロセスが必要不可欠である。そのため、再生可能エネルギーの利用拡大には蓄電装置のコストを下げつつ蓄電容量を増大させる必要がある。

電池には使用用途に合わせた出力や容量の異なる多様な製品が存在し、我々は今後、これまで以上に多様な電池を所持することになると予想される。低価格で再生エネルギーによる家庭内電力システムを構築できるよう蓄電容量を増大させるには専用電池だけではなく様々な用途の電池を組み合わせ、電力の合成および分配のプロセスを経て負荷へと電力を柔軟に供給することが有効な手段であると考えられる。本研究では様々な電池の持つ能力を活用し、電力を消費する負荷デバイスの効用を最大化するための電力フロー制御の確立を目標とし、目標の達成に必要な条件についての調査結果を述べる。

2. 関連研究・技術

太陽光発電装置や蓄電装置から出力される電力は直流であることから、直流給電を利用した電力供給システムについての研究が進められている。湯浅らの研究では電力自給率の向上に従い直流給電システムによる優位性が高まることが示されている¹⁾。一井らの研究ではスマートグリッドの直流化により必要な蓄電池容量の削減が可能であると示している²⁾。これらの研究では固定の蓄電装置から負荷へと電力供給を行うことが前提であり、多様な電池を組み合わせた電力の合成や分配のプロセスは含まれない。

また、現在モバイル PC やスマートフォンなどの給電インタフェースとして USB-PD の採用が進んでいる。USB-PD は USB Type-C のオプション規格であり、特徴には、給電する側である Source と給電される側である Sink を切り替えるロールスワップ機能、流す最大電力に合わせて電圧を Source と Sink の間の相互同意で決める機能など

が挙げられる。このことから USB-PD は現在実用化されているインタフェースでは数少ない電力フロー制御を行うことが可能である有カインタフェースであり、今後の発展が期待される。

3. 電力合成分配ハブ VGHub

現在我々は USB-PD の特性を活用して電力フロー制御を行うための装置であるバーチャルグリッドハブ (VGHub) の試作品を開発中である³⁾。VGHub は DC-DC コンバータにより供給された電力を内部で合成、あるいは分配することが可能である特徴を持つ。合成分配の機能を活用した使用イメージを図 1 で示す。VGHub は内蔵された Raspberry Pi 上で実行されるプログラムにより制御可能である。試作品は 7 つの USB Type-C ポートから構成され、7 つ全てのポートで USB-PD に基づき最大 60W の電力の電力を双方向に流すことが可能である。

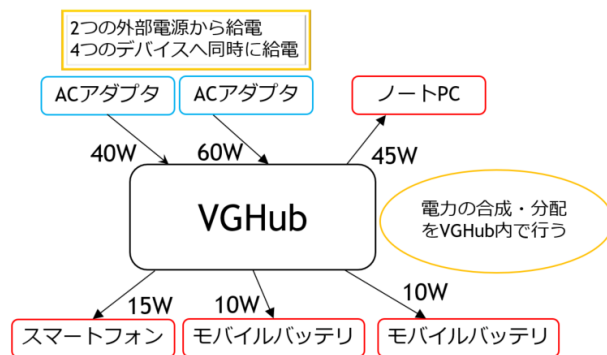


図 1 VGHub の使用イメージ

4. 電力分配実験

動作条件の確立されていない VGHub の試作品を安定して動作させるため、本研究では試作品のライブラリを使用した基本機能のプログラミング実装を行い、それに基づき合成分配制御を行う上で安定動作を実現しかつ電源能力使用率の向上に必要な条件およびそれに伴う問題についての調査をする実験を行った。

VGHub を動作させる上で考慮すべき値の 1 つとして給電下限電力値 P_L が挙げられる。 P_L は各デバ

イス固有の値であり，VGHubのすべてのSourceポートは P_L を上回る設定電力値 P_S を設定する必要がある． P_L は仕様書などに明記されない値のためデバイスごとに推定を行う必要がある．同様に制御の上で推定が必要な値としてデバイスが要求する電力値 P_X や，Sinkポートから供給された電力合計値から電力損失を差し引いた値であるSourceポートへの供給可能電力合計値 P_T などが挙げられる． P_L がデバイスごとに固有の値である一方で P_X や P_T は負荷の状態などにより常に変化する値であり，制御を行う上ではリアルタイムでの推定が必要である．

また，調査の結果，電源能力使用率を最大化し負荷効用を最大化するための条件として，各Sourceポートにおいて

$$|P_S - P_X| \quad (1)$$

を最小化すると同時に，全体において

$$|P_T - \sum P_S| \quad (2)$$

を最小化することが必要であることがわかった．(2)における $\sum P_S$ とはすべてのSourceポートの P_S の合計値である．また，今回は電源能力使用率として電源から入力された電力の実測値を電源の最大出力で割った値を用いた．

図2はVGHubを用いて最大60W出力のACアダプタから供給された電力で最大 $P_X=18W$ ， $P_L=8W$ のモバイルバッテリー1台への給電を行った場合の(1)の値と電源能力使用率の実測値の関係を示したグラフである．このときに(1)の値が0に近い点で電源能力使用率が最大化されていることが確認できる．図2の場合，(1)の値が正の方向に大きくなっても変化がない．(1)の値が正であるときは $P_S > P_X$ を満たしている．このような状態であるとSourceポートが複数存在するとき各ポートへの電力配分を P_S によって決定していることから電力配分に無駄が生じる．そのため，

(1)の値が正である場合においても値が小さい方が好ましい．図3は図2と同様の電源とモバイルバッテリーを用いて，1台の電源から供給された電力を分配し3台のモバイルバッテリーへの充電を行った場合の(2)の値と電源能力使用率の実測値の関係を示したグラフである．このとき，(2)の値が0に近いときの電源能力使用率が最大化されていることが確認できる．(2)の値が負の方向に大きいとき，すなわち P_S の合計値が大きい場合に電源能力使用率が極端に下がっている．これは設定値の合計が電源の持つ供給能力を上回ったことにより一部のポートへの電力供給が停止したためである．これらより，USB PDによる電力の合成・分配を行う上でこの2式の値を考慮した電力値の設定が電源能力使用率に繋がると考

えられる．

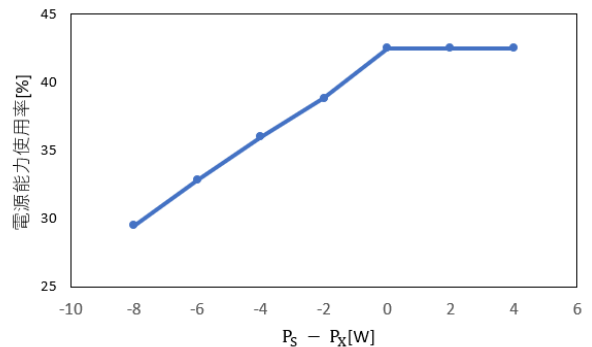


図2 (1)と電源能力使用率の関係

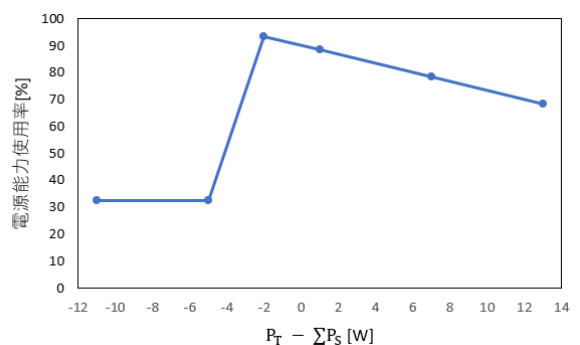


図3 (2)と電源能力使用率の関係

5. むすび

本稿ではVGHubの試作品を用いてUSB-PDを利用した電力フロー制御を行う上で必要となる条件についての調査を行った．今後は今回の成果を基により実用的な電力フロー制御の確立を目指す予定である．

謝辞

本研究はJSPS科研費JP17H06293の助成を受けました．ご支援いただいた関係者に感謝します．

参考文献

- 1) 湯浅一史, 植嶋美喜, 馬場崎忠利 ”電力エネルギー自家消費率を考慮した直流給電方式の適用優位領域に関する検討”, TRANS. of IEIEJ, Vol. 38 No. 5, 2018.
- 2) 一井啓介, 高原 勇, 谷口 守 ”再エネ活用に向けたスマートグリッド直流化効果の検証”, 第59回土木計画学研究発表会, 2019.
- 3) H. Ichikawa, S. Yokogawa, Y. Kawakita, K. Sawada, T. Sogabe, A. Minegishi, and H. Uehara; “An Approach to Renewable-Energy Dominant Grids via Distributed Electrical Energy Platform for IoT Systems”, IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids, 2019.