

共同研究報告書

住宅用蓄電池付き太陽光発電システムの充放電制御法の検討

2022年3月

津山工業高等専門学校

桶 真一郎

難波 竜也

1. はじめに

現在、多くの住宅用太陽光発電システムは FIT 制度により太陽光発電電力が全量買い取りされている。しかしながら、FIT 制度による全量買い取りがされる期間は制度の適用開始から 10 年であり、それ以降は余剰電力を買電単価よりも安い価格で電力会社に売却することになる（卒 FIT）。また、電動ヒートポンプを用いて安価な深夜電力で湯を沸かし、朝や夕方の給湯需要を賄う住宅も多い。そのような場合、日中の太陽光発電電力のほぼ全量を安価に売却し、深夜にはそれより高価な系統電力を購入することになる。このことは、経済性のみならず省エネルギーの観点からも望ましいとはいえない。本研究では、卒 FIT 後の住宅に蓄電池を導入し、給湯用の電動ヒートポンプと連動運転することにより、太陽光発電電力を逆流せず自家消費するシステムを想定し、その性能について検討するとともに、中核設備である蓄電池の充放電制御におけるバッテリーマネジメントシステムの性能を評価した。

2. 研究内容

2.1 住宅用蓄電池付き太陽光発電システム実証設備の構築

住宅用蓄電池付き太陽光発電システム（以下、住宅用 PV-バッテリーシステム）を構築し、その実証試験を実施した。本システムは、太陽光発電電力と系統電力で住宅の電力・熱需要を賄うものである。ただし、卒 FIT 後を想定し太陽光発電電力の逆流（売電）は行わないため、電気自動車リーフから取り外した中古リチウムイオンバッテリーを併設することで余剰電力を有効活用することとした。実際に作成した住宅用 PV-バッテリーシステムの概略を図 1 に示す。本研究で構築したシステムは、2.08 kW の太陽電池アレイ、5 kW のパワーコンディショナ、17 kWh のリチウムイオンバッテリーから成る。また、模擬負荷としてエアコン（富士通ゼネラル、AS-E22S-W）と電子ヒーター（KOIZUMI、KKS-0925）を

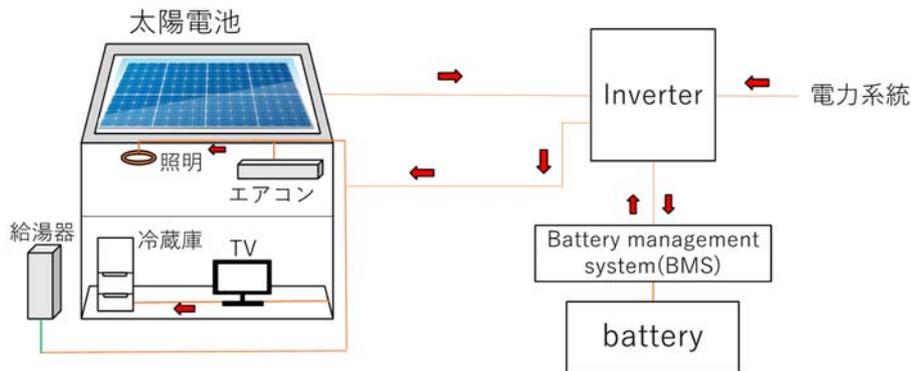


図1 住宅用PV-バッテリーシステムの概略

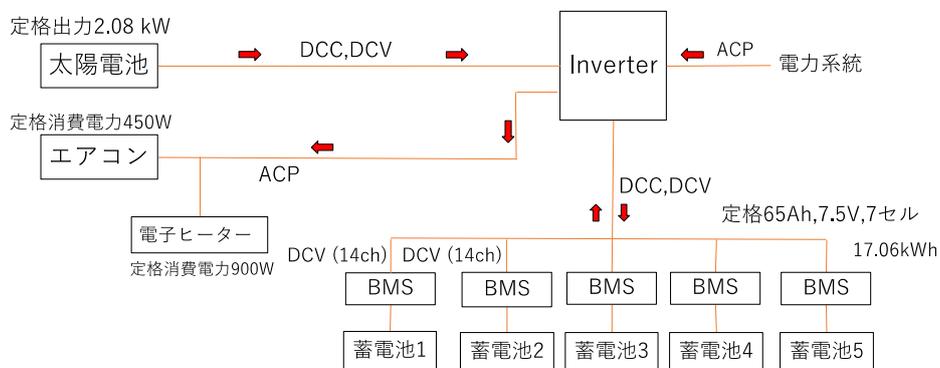


図2 計測システムの概略

使用した。本研究で使用したリチウムイオンバッテリーは電気自動車リーフから取り外した中古品であり、1モジュールあたりの電圧は52.5V、容量は65Ahである。本システムでは5つのモジュールを並列接続したため、バッテリー全体の容量は約17kWhである。バッテリーを構成するすべてのセルには電圧の不均一による劣化を防止する目的でバッテリーマネジメントシステム(BMS)を接続した。BMSは、バッテリーのセル電圧が2.5~4.15Vの範囲に収まるように制御するよう設定した。本研究では、BMSの性能を評価するため、5つのうち2つのモジュールのセル電圧を計測した。また、システム全体のエネルギー収支についても同時に観測した。計測システムの概略を図2に示す。クランプ電力計、電流センサ、および電圧データロガーを組み合わせることにより、バッテリーのセル電圧のほか、太陽電池の発電電力、蓄電池の充放電電力、負荷の消費電力、および受電電力を計測した。これらの計測結果は、模擬負荷を用いた住宅用PV-バッテリーシステムの性能評価に活用した。

2.2 バッテリーマネジメントシステムの性能評価

バッテリーマネジメントシステム(BMS)は、セル電圧を適正に保つとともにその均一化

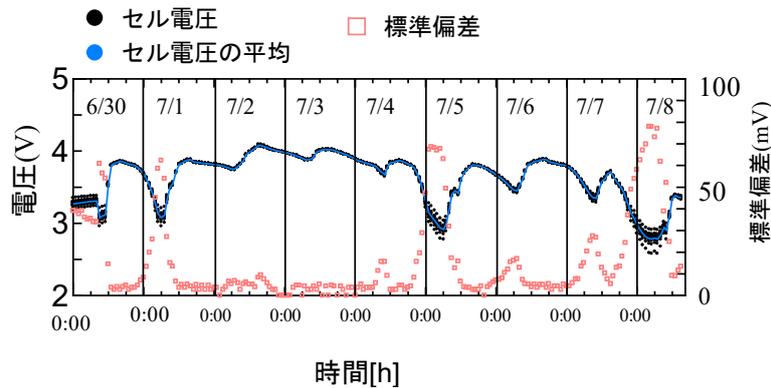


図3 夏季におけるバッテリーのセル電圧の変動の様子（モジュール1）

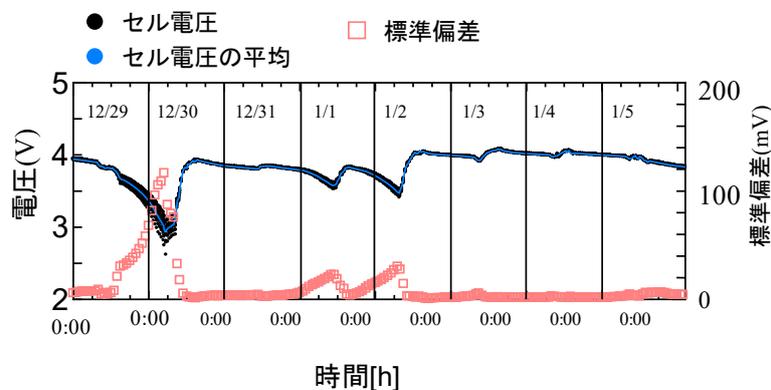


図4 冬季におけるバッテリーのセル電圧の変動の様子（モジュール1）

によりセルの劣化を抑制する目的で使用される。本研究では、BMSは使用したリチウムイオンバッテリーのセル電圧をその許容範囲である2.5~4.15Vの範囲で制御するように設定した。また、5つのうち2つのモジュールのすべてのセル（合計28セル、14セル×2モジュール）のセル電圧を計測し、その変動特性を評価した。セル電圧の計測は2021年6月から同年12月まで実施した。

図3には夏季の、図4には冬季の、セル電圧、その平均値、およびその標準偏差を示す。これらの図から、BMSはバッテリーのセル電圧を許容範囲内になるよう制御していることがわかる。また、セル電圧が高い場合は個々のセル電圧のばらつきは小さい（標準偏差が小さい）が、セル電圧が低い場合は個々のセル電圧のばらつきが大きい（標準偏差が大きい）ことがわかる。たとえばモジュール1の場合、セル電圧の平均値が4.07Vと高い7月2日14時ごろの標準偏差は7.5mVであったのに対して、セル電圧の平均値が2.93Vに低下した7月5日6時ごろには標準偏差が68mVとなった。計測期間全体を通して、計測した2つのモジュールそれぞれにおけるセル電圧は、モジュール1では2.54V~4.13V、モジュール2では2.56V~4.12Vと、許容範囲に収まっていた。

図5に、セル電圧の平均値とそれらの標準偏差との関係を示す。同図から、セル電圧が低

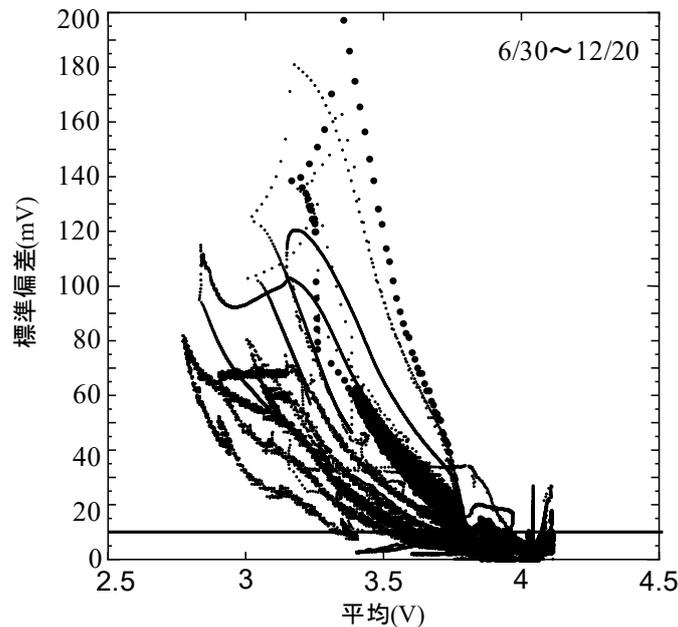


図5 バッテリーのセル電圧の平均値と標準偏差との関係 (モジュール 1, 2)

い場合にはバッテリーを構成する個々のセル電圧のばらつきが大きくなることがわかる。一般に、BMSによるリチウムイオンバッテリーのセル電圧均等化動作においてはセル電圧の標準偏差を5~10 mV以下にすることが求められている(※1)。本研究で得られたデータ(46964 ケース)のうち、標準偏差が10mVを下回ったのはその62.7%であった。

※1

M. Uno and A. Kukita, "Double-Switch Equalizer Using Parallel- or Series-Parallel-Resonant Inverter and Voltage Multiplier for Series-Connected Supercapacitors," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 2, pp. 812-828, Feb. 2014, doi: 10.1109/TPEL.2013.2257867.

2.3 住宅用PV-バッテリーシステムの導入効果の評価

住宅用PV-バッテリーシステムの導入効果について、実測データに基づくシミュレーションにより評価した。対象とした住宅とその負荷データの概要を表1に示す。このデータは、日本建築学会による住宅内のエネルギー消費量に関する調査によって得られたものである(<http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/index.htm>)。ただし、太陽光発電システムと蓄電池は本研究において追加した。本研究では、季節(春, 夏, 秋, 冬), 日種別(平日, 休日), 天候(晴天, 曇天)を組み合わせた16通りのモデル負荷パターンに対して、住宅用PV-バッテリーシステムを導入した場合のエネルギー収支を調べた。また、住宅用PV-バッテリーシステムを導入した住宅と、蓄電池を導入せずに太陽光発電のみを設置した

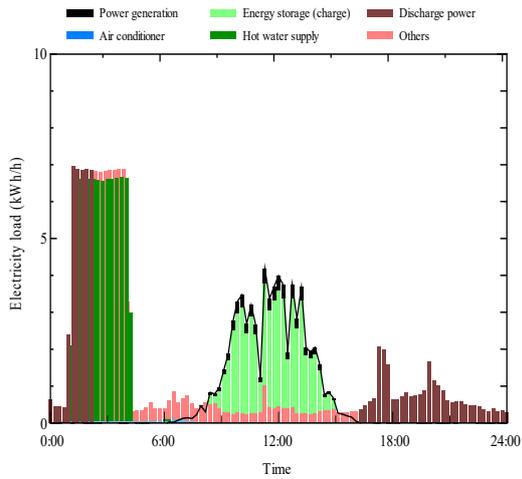
表1 シミュレーション対象とした住宅の概要

所在地と種類	兵庫県三田市，戸建て
延床面積	158.75 m ²
断熱仕様	熱損失係数 1.49 W/m ² ・K 隙間相当面積 2.51 cm ² /m ²
エネルギー契約種別	電気（オール電化住宅）
太陽光発電システム設置容量	4.4 kW
蓄電池容量	17.06 kWh
家族人数	5名

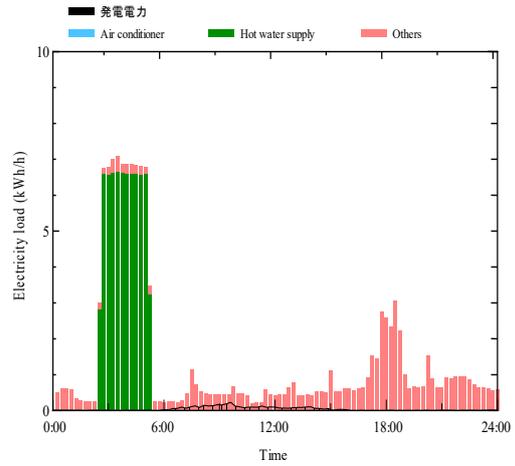
住宅において、その受電電力量を比較した。なお、実測データから得られた情報に基づき、太陽光発電電力の10%をインバーターロスとした。

シミュレーション結果を図6に示す。春季の平日が晴天である場合、日中の太陽光発電電力の大部分が余剰電力となる。蓄電池がない場合はそれをすべて売電するが、住宅用PV-バッテリーシステムを導入している場合は夜半までの電力需要のすべてを昼間に発電した太陽光発電電力で賄え、さらには深夜に発生する給湯用電力需要の一部も賄えることがわかる。夏季から冬季にかけては、夕方から夜間にかけての電力需要が大きく蓄えた電力は夜半前にすべて消費するため、給湯用電力需要は深夜電力で賄うことになる。冬季は昼間の太陽光発電電力が小さいため、蓄えた電力は18時前には使い切る。

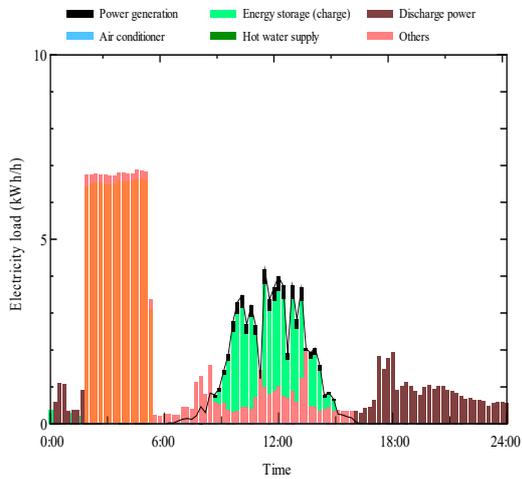
図7に、住宅用PV-バッテリーシステムを導入した場合と太陽光発電のみを導入した場合の買電電力量の比較を示す。同図から、いずれの季節においてもPV-バッテリーシステムを導入した方が、買電電力量が減少することがわかる。その効果は、日中に多くの太陽光発電電力が得られ夕方から夜間にかけての電力需要が比較的小さい春季、夏季、秋季において大きく、太陽光発電電力が小さい冬季においては小さい。



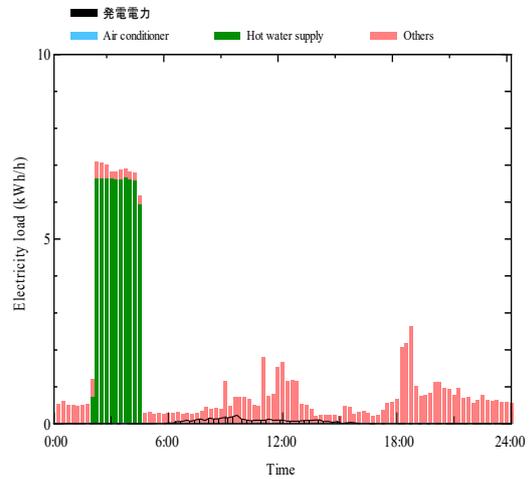
(a) 春季の平日 (晴天)



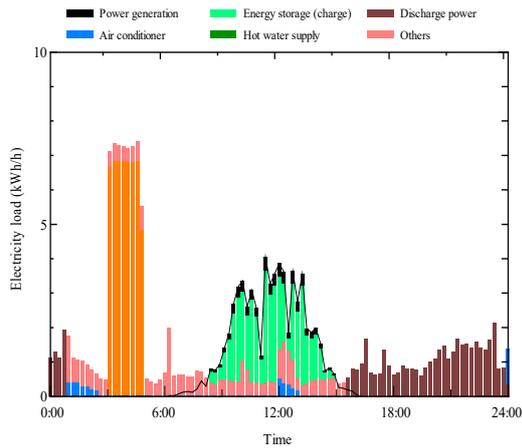
(b) 春季の平日 (曇天)



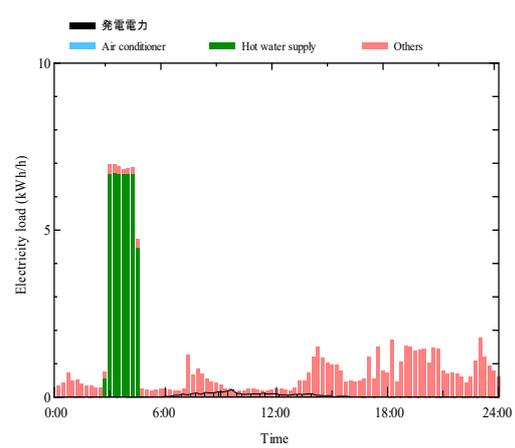
(c) 春季の休日 (晴天)



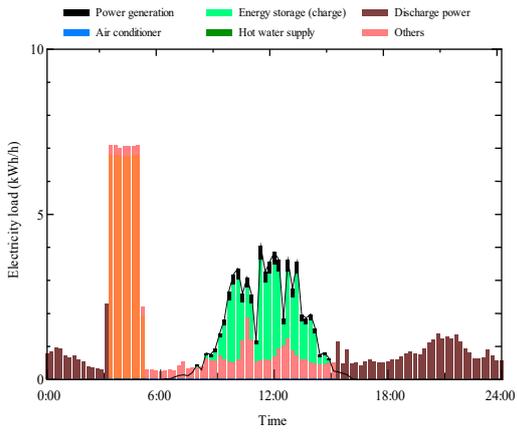
(d) 春季の休日 (曇天)



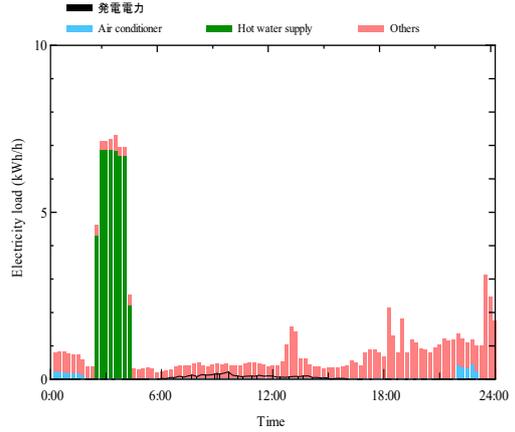
(e) 夏季の平日 (晴天)



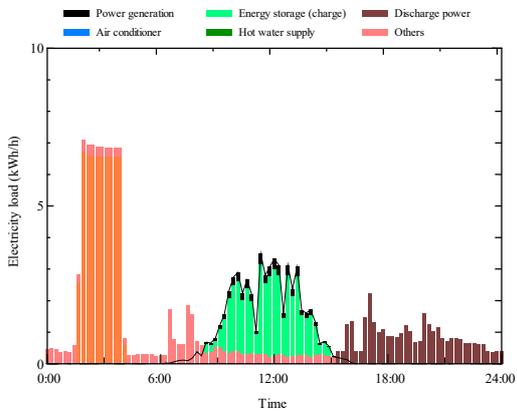
(f) 夏季の平日 (曇天)



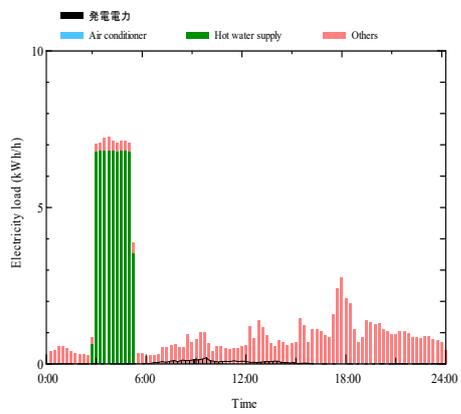
(g) 夏季の休日 (晴天)



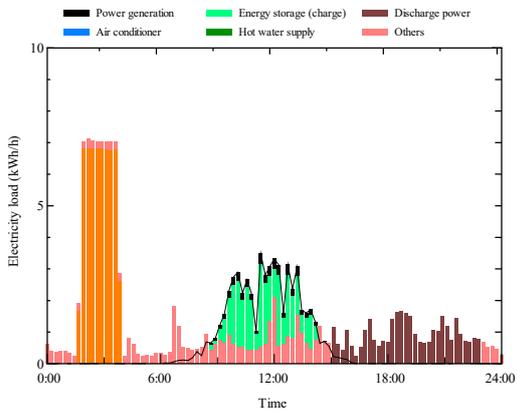
(h) 夏季の休日 (曇天)



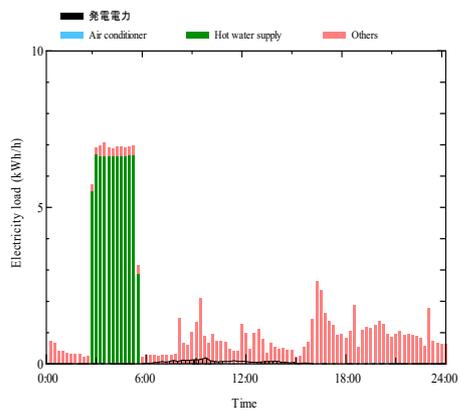
(i) 秋季の平日 (晴天)



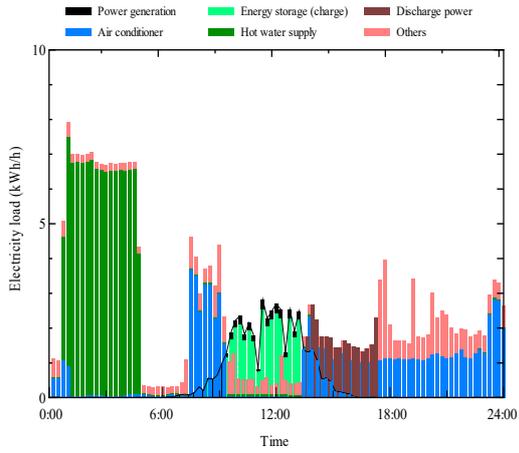
(j) 秋季の平日 (曇天)



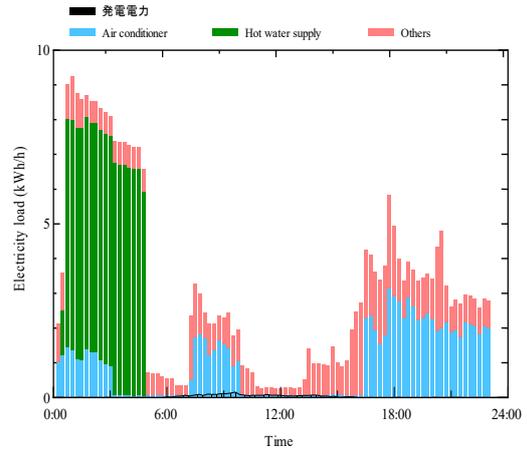
(k) 秋季の休日 (晴天)



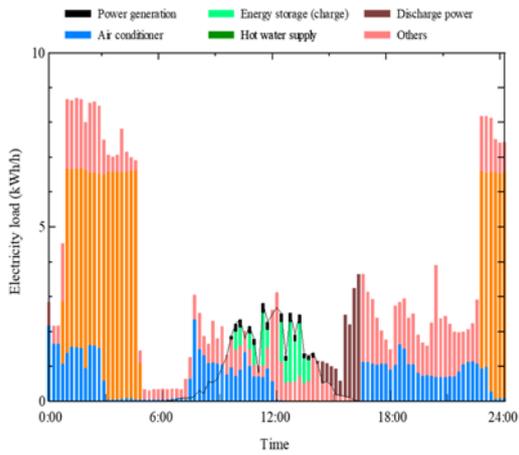
(l) 秋季の休日 (曇天)



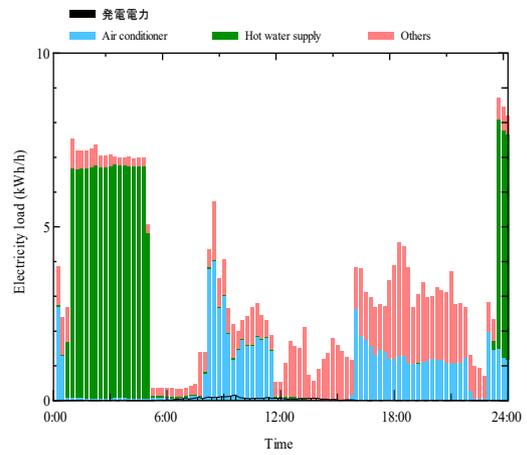
(m) 冬季の平日 (晴天)



(n) 冬季の平日 (曇天)



(o) 冬季の休日 (晴天)



(p) 冬季の休日 (曇天)

図6 住宅用PV-バッテリーシステムの導入シミュレーション

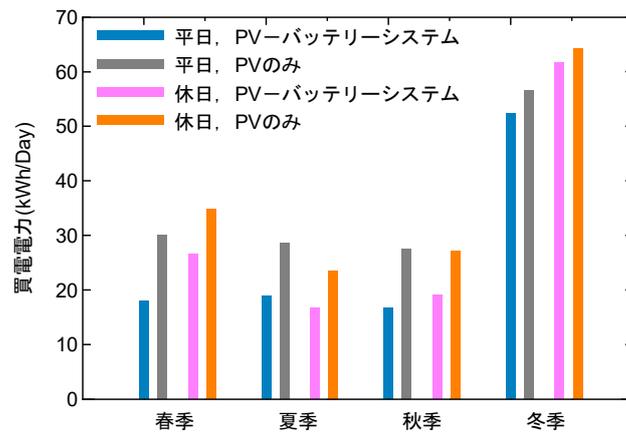


図7 買電電力量の比較

3. まとめと課題

太陽光発電と蓄電池とを組み合わせた住宅用 PV-バッテリーシステムを導入することで、住宅の買電電力量を削減できることがわかった。とくに、太陽光発電電力が固定価格で全量買い取りされる FIT 制度下よりも卒 FIT 後において、余剰電力を売電せずに自家消費する本システムを導入する経済的メリットは大きくなる。また、電力系統から見た場合でも、見かけ上の負荷変動が減少するため、系統の安定運用に資するシステムである。なお、本研究で用いた住宅の電力需要モデルでは、給湯（蓄熱）は深夜電力を用いている。近年、卒 FIT 後を見据えて太陽光発電電力で給湯（蓄熱）する給湯機がいくつか発売されている（※2）。住宅用 PV-バッテリーシステムは、このような給湯機と組み合わせて使用することで、そのメリットをさらに増大できる可能性がある。

本研究で用いた BMS の性能は必ずしも理想的とは言えないものの、中古リチウムイオンバッテリーを有効活用するには十分な性能を有しているといえる。商品化する際には、複数のメーカーの BMS を比較するなどして適切な機種を選定することが求められる。インバーターは、太陽光発電電力の電力変換とバッテリー充放電の制御については十分な機能を備えており、太陽光発電電力が電力負荷を大きく上回る場合でも下回る場合でも、問題なく動作した。一方で、やや電力損失が大きい可能性があるため、実際の住宅にシステムを設置しての実証試験によりシステム全体を評価するとよい。

※2

(例) パナソニック 太陽光エネルギーで自家消費を促進「おひさまエコキュート」を発売
(<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2022/03/jn220302-3/jn220302-3.html>)